

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри МАХНВ
_____ Я.М. Корнієнко
(підпис)
“ ” _____ 2018 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття освітнього ступеня магістр
з спеціальності: 133 Галузеве машинобудування
спеціалізація: Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

на тему: Модернізація установки очищення води з розробкою апарата зворотного осмосу та змішувача

Виконала студентка 6-го курсу, групи ЛН-71мп

Лещенко Оксана Анатоліївна

Керівник проекту канд. техн. наук, ст. викл. С.В. Гулієнко

Консультанти:

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доц. І.М. Ковтун

розробка стартап-проекту

доц., канд. економ. наук Н.В. Юдіна

технологія виготовлення деталі “підп’ятник”

ст. викл., канд. техн. наук Я.Г. Двойнос

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. наук, доц. А.Р. Степанюк

Рецензент

_____ (посада, вчене звання, науковий степінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____ О.А. Лещенко

Київ – 2018

Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....	13
Вступ.....	14
1 Призначення та область використання.....	15
1.1 Опис технологічного процесу.....	15
1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі	17
2 Технічна характеристика основних апаратів установки.....	18
3 Опис та обґрунтування вибраних конструкцій апаратів.....	19
3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей.....	19
3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами	22
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів	23
3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки.....	24
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій.....	34
4.1 Наукові дослідження.....	34
4.1.1 Мета і задачі дослідження.....	34
4.1.2 Дослідження гідравлічного опору в апараті зворотного осмосу	35
4.1.2.1 Математична модель течії в каналах мембранного модуля	35
4.1.2.2 Розв'язання математичної моделі течії в каналах мембранного модуля методом теорії подібності	36
4.1.2.3 Опис експериментальної установки.....	41
4.1.2.4 Методика обробки експериментальних даних.....	43
4.1.2.5 Визначення коефіцієнту n (показника степеня при критерії Рейнольдса)	44
4.1.2.6 Визначення виду критеріального рівняння	45
4.1.2.7 Висновки	48
4.1.3 Дослідження опору шару концентраційної поляризації	48

						ЛН71мп.066619.001 ПЗ				
3	4.1.3	1	Матеріали	Підпис	Дата	50				
Розробл	Лещенко О.А.					Модернізація установки		Літ.	Лист	Листів
Перев	Гулієнко С.В.					очищення води з розрідкою			12	230
						апарата зворотного осмосу та		НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", ІХФ, МАХІВ		
Н.Контр.						ЛН71мп.066619.001 ПЗ				
Затв	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

4.1.3.2 Обґрунтування методики експериментальних досліджень	51
4.1.3.3 Опис експериментальної установки, основних вимірювань та обробки результатів.....	52
4.1.3.4 Результати та обговорення	54
4.1.3.5 Висновки	57
4.2.1 Визначення основних геометричних розмірів апарата зворотного осмосу.	58
4.2.2 Розрахунок гідравлічного опору.....	70
4.2.3 Розрахунок на міцність одношарової циліндричної обичайки	73
4.2.4 Розрахунок затвора з плоскою металевою прокладкою	75
4.2.5 Розрахунок фланцевого з'єднання апарату високого тиску	76
4.2.6 Розрахунок шпильок на міцність.....	79
4.3.1 Розрахунок змішувача	82
4.3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання	85
4.3.3 Розрахунок на міцність (несучу спроможність) вертикальних циліндричних обичайок від дії реакції опорних лап	93
4.3.4 Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість	96
4.3.5 Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою на жорсткість	99
4.3.6 Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою на міцність.....	102
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	106
6 Рекомендації з виготовлення, монтажу та експлуатації установки.....	116
7 Рівень стандартизації та уніфікації	118
8 Розроблення стартап проекту.....	120
Висновок	140
Вывод.....	141
Conclusion.....	143
Перелік посилань.....	145
Додаток А. Технологія виготовлення деталі	151
Додаток Б. Автоматична схема керування установкою.....	169
Додаток В. Документація до патентного дослідження	177

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

Додаток Г. Комп'ютерний розрахунок елементів апарата	188
Додаток Е. Публікації автора.....	192

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

F – площа поверхні мембрани, м^2 ;

p – тиск, МПа

R – коефіцієнт розділення;

R_c – опір шару забруднень, м^{-1} ;

R_{cp} – опір шару зконцентраційної поляризації, м^{-1} ;

R_m – опір мембрани, м^{-1} ;

R_T – загальний опір перенесенню речовини через мембрану, м^{-1} ;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

Критерії (числа) подібності:

Re – критерій Рейнольдса;

Sc – критерій Шмідта;

Sh – критерій Шервуда.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Вода має велике значення в житті людини. Сучасне місто споживає велику кількість води, але у водопровідній воді міститься величезна кількість забруднюючих речовин, металів, солей, токсичних речовин і багато чого іншого. З цієї причини в Україні має місце питання дефіциту водних ресурсів та якості питної води. У деяких містах та окремих регіонах відхилення від норми становить 70-80%.

Навіть та вода, яку ми отримуємо з власних свердловин і колодязів, далеко не завжди відрізняється хорошим складом. У ній обов'язково будуть присутні надлишки тих чи інших речовин, які не дуже корисні для нашого здоров'я.

Сучасний ринок пропонує величезну кількість очисних систем, які можна використовувати як для забезпечення питною водою приватного житла, так і для очищення води в масштабах виробництва.

Мембранні процеси є поширеними оскільки вони здатні зменшити кількість обладнання, переробити технологічну воду і відновити цінні продукти для інших потреб.

Одним з основних обмежень в роботі мембранного обладнання є явища концентраційної поляризації та утворення неорганічних та органічних осадів на поверхні мембрани. Концентраційна поляризація це явище, що полягає у підвищенні концентрації розчинів біля поверхні мембрани.

Оскільки методи визначення опору шару концентраційної поляризації в джерелах не було виявлено то тема є актуальною задачею.

Завдання на магістерську дисертацію одержане в вересні 2018 року під час проходження переддипломної практики на ПрАТ “Спецбудмаш”.

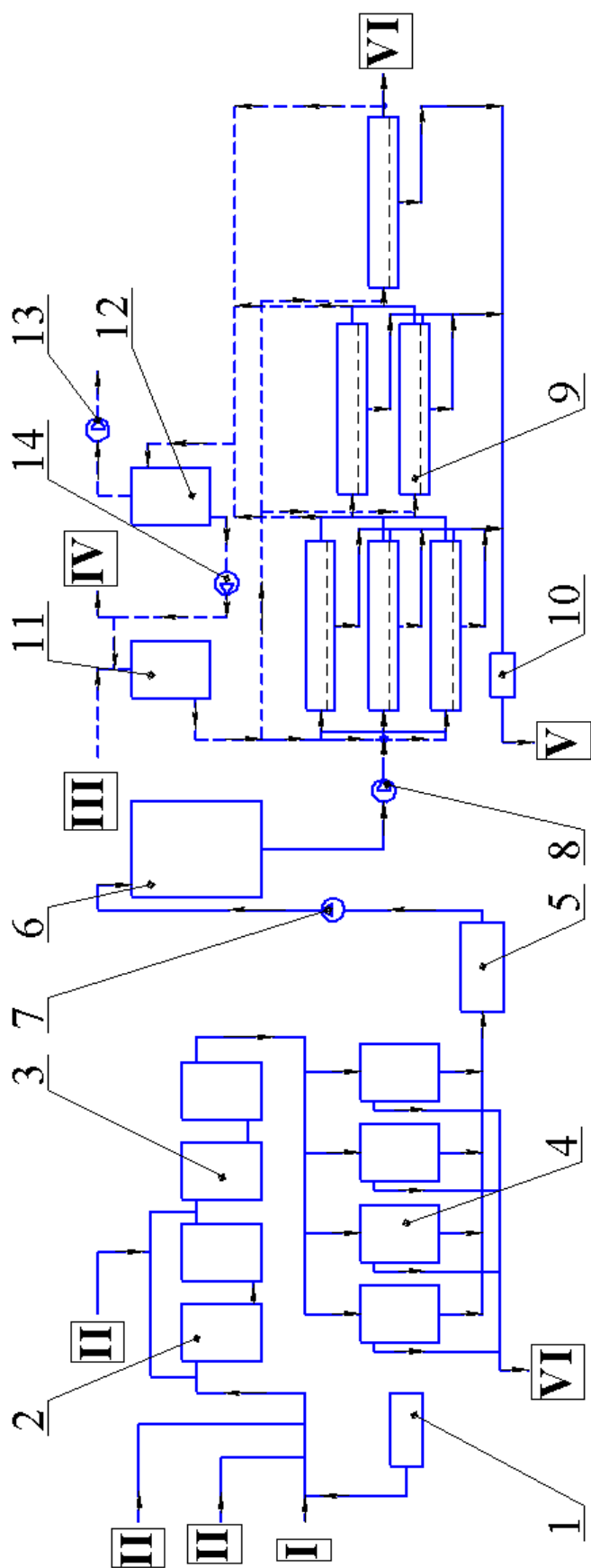
					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Призначення область використання установки

1.1 Опис технологічного процесу

Технологічна схема для очищення води, показана на рисунку 1.1, працює наступним чином. У блоці хлорування 1 вода піддається знезараженню хлором після чого в потік вводиться коагулянт FeCl_3 , а також для зменшення утворення осаду регулюють величину рН, додаючи кислоту, оскільки солі кальцію, барію і магнію не осаджуються при низьких рН, а кремнезем при високих значеннях рН. Коалесценція (зіткнення крапель рідини) та осадження зважених твердих частинок відбувається в дестабілізуючій ємності 2 та каскаді коагуляторів 3 куди поступово подається вода. Подача в систему поліелектролітів не є обов'язковою і здійснюється для покращення процесу коагуляції, якщо в цьому є потреба. У фільтрах 4 видаляються залишки твердих частинок і когулянту. Шлам видаляється в дренажну систему. Насосом 7 через проміжну ємність 5 фільтрат перекачується в накопичувальну ємність 6, звідки насосом високого тиску 8 подається в каскад що складається зі зворотноосмотичних мембранних апаратів 9. Пройшовши мембранні апарати 9 утворюється пермеат який після проходження пост-фільтра 10 подається на споживання або технологічне використання, ретентат зливається в дренажну систему або іде на утилізацію. При перевищенні забруднення окремих мембранних апаратів вище допустимого рівня можливе підключення до установки регенерації. В режимі регенерації за рахунок розрідження (абсолютний тиск 0,005-0,009 МПа при температурі 40-45 °C), що створюється вакуум насосом 13 в змішувачі 12 з ємності 11 промивний розчин (знесолена вода, розчин лимонної кислоти ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) або розчин гідрокарбонату натрію (Na_2CO_3)) подається до мембранного апарата, що підлягає регенерації. При русі промивного розчину в каналах мембранного модуля (або модулів) в апараті відбувається розчинення і вилучення шару осаду, внаслідок чого сумарний опір перенесенню зменшується і зростає продуктивність модуля. За допомогою циркуляційного насоса 14 відбувається циркуляція промивного розчину.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



1 – система хлорування; 2 – ємність дестабілізації; 3 – флокулятор; 4 – фільтр; 5 – проміжна ємність;

6 – накопичувальна ємність підготовленої води; 7 – насос; 8 – насос високого тиску; 9 – каскад мембранних апаратів; 10 – пост-фільтр; 11 – ємність з промивним розчином; 12 – змішувач; 13 – вакуум-насос; 14 – циркуляційний насос; I – подача сировини; II – дозування реагентів; III – подача промивного розчину; IV – відведення промивного розчину; V – відведення очищеної води; VI – дренаж

Рисунок 1.1 – Принципова схема установки зворотноосмотичної підготовки води з традиційною поперелною обробкою, що доповнена блоком регенерації [1]

1.2 Вибір типу установки, апаратів, їх місце в технологічній схемі

Відповідно до коефіцієнту розділення розчинів найбільш селективними і ефективними є мембрани зворотного осмосу. Вони мають найменші пори. Середній відсоток затриманих речовин зворотноосмотичними мембранами становить 97-99%.

Мембрана проникна для розчинника (води) і непроникна для розчиненої речовини (солі). Вода тече з концентрованого розчину в розбавлений, якщо тиск концентрованого розчину більший за осмотичний. Тобто буде відбуватися відділення розчинника від розчиненої речовини (знесолювання). Такий процес отримав назву зворотний осмос [2].

Найбільшого поширення набрали рулоновані мембранні модулі.

Мембранні рулонні модулі відрізняються зручною конструкцією. Тонкий робочий шар дозволяє віднести даний тип фільтрів до одним з найбільш продуктивних, до того ж пори його засмічуються рідко.

Також важливим апаратом в схемі зворотноосмотичної підготовки води є змішувач. Який забезпечує ретельне перемішування флокулянтів, які додаються для вилучення шару осаду.

Пропелерні мішалки застосовуються тоді, коли потрібне інтенсивне перемішування рідких середовищ при мінімальних витратах енергії. Вони характеризуються високою швидкістю обертання валу і може досягати декількох тисяч обертів в хвилину. Їх можна застосовувати для ретельного перемішування великих обсягів рідин, підйом твердих осадів з розміром часток не більше 0,15 мм з дна ємності, а також вони мають здатність прискорення процесів розчинення.

Що повністю задовольняє вимоги роботи лінії очищення води.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технічні характеристики основних апаратів установки

Апарат зворотного осмосу

Апарат призначений для одержання очищеної води.

Робочий об'єм апарата, м ³	0,09;
Поверхня мембран у фільтраційному модулі, м ²	23;
Кількість фільтраційних елементів	3;
Поверхня мембран в апараті, м ²	69;
Робочий тиск в апараті, МПа	5;
Робоча температура, °С	25;
Габаритні розміри:	
• довжина, мм	2925;
• ширина, мм	425;
• діаметр, мм	200;
Маса, кг	150.

Змішувач

Робоче середовище вода.

Робочий тиск в апараті, МПа	0,1;
Робоча температура, °С	25;
Об'єм, м ³	1,4;
Габаритні розміри:	
• висота, мм	3225;
• ширина, мм	1216;
• діаметр, мм	1000;
Маса порожнього апарату, кг	805;
Максимальна маса при гідровипробуваннях, кг	905.

3 Опис та обґрунтування вибраних конструкцій апаратів

3.1 Конструкція і принцип дії апаратів, основних складальних одиниць та деталей

Для проведення процесу зворотного осмосу найчастіше використовують апарати з рулонованими (спіральними) мембранними модулями (рисунок 3.1), це можна пояснити тим що такі мембрани мають високу питому площу поверхні мембран, а також простотою конструкцій апаратів [3].

Вони складаються з центральної перфорованої трубки накрученими навколо неї трьома шарами матеріалу: основного мембранного і дренажних прокладок, в які загорнутий з обох сторін мембранний матеріал. Також прикріплюється сітка сепаратор. Мембранний пакет скручується рулоном навколо центральної труби і, завдяки наявності сітки сепаратора, між шарами мембранного пакету наявні проміжки, які слугують напірним каналом для руху сировини

Вода подається з торця фільтра, проходить по спіралі через мембрану і прокладки, а потім потрапляє в дренажну трубу (центральну трубу), з якої видаляється як пермеат. Розчинені у воді забруднювачі відводяться з рулонного фільтра з іншого торця, як ретантат.

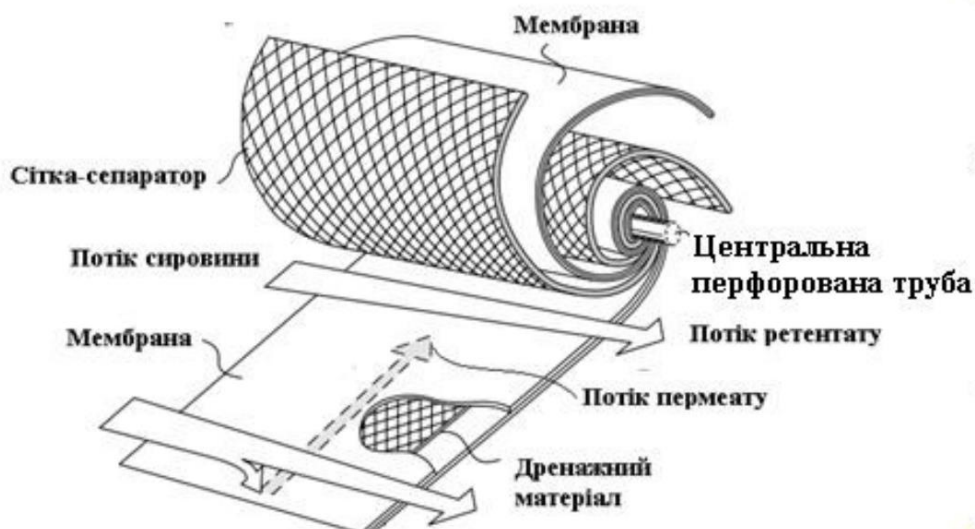
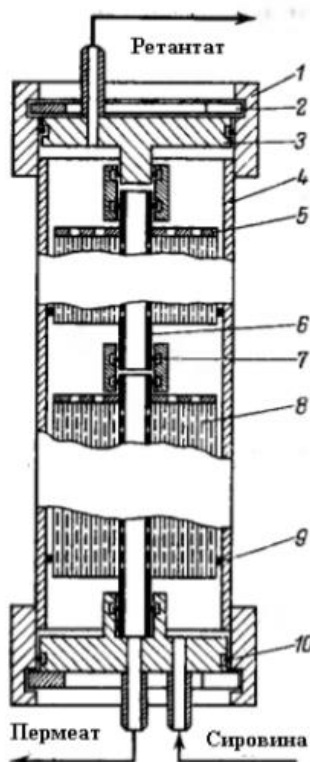


Рисунок 3.1 – Рулонований мембранний модуль

Рулоновані модулі встановлюють в корпусах, які сконструйовані з можливістю окремого виведення з апарату ретантату та пермеату (рисунок 3.2). [2].



- 1 – накидне кільце; 2 – упорне кільце; 3 – кришка; 4 – корпус; 5 – решітка;
6 – труба для виведення пермеату; 7 – кільце; 8 – модуль; 9 – манджета;
10 – кільце

Рисунок 3.2 – Схема апарата рулонованого типу

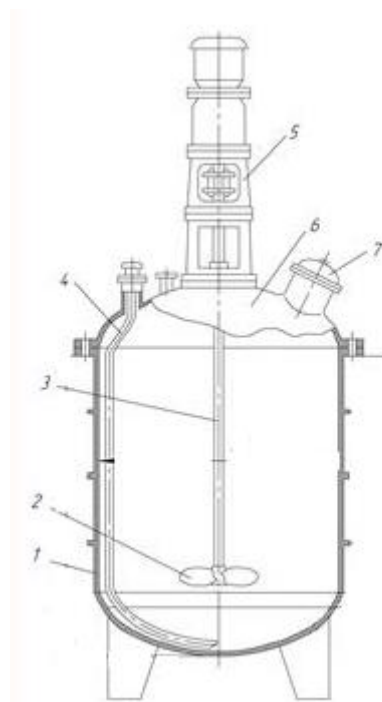
Представлені на рисунку 3.2 апарати зазвичай об'єднують в каскади кінцевого типу.

Пропелерні промислові або лабораторні мішалки складаються з валу, на якому закріплюється імпеллер у вигляді лопатей різного профілю. Лопатей може бути різна кількість, найчастіше застосовується трилопатевої пропелер. Форми лопатей теж залежать від конкретних завдань, але найпрактичнішою вважається форма гребного гвинта.

У рух вал приводить електромотор. Великою перевагою пропелерних мішалок є можливість безпосереднього жорсткого кріплення мішалки до електродвигуна, що дозволяє зробити конструкцію енергоефективніше.

Робочою частиною пропелерної мішалки є імPELLер, лопаті якого зігнуті з поступово мінливим нахилом, майже від 0° у осі і до 90° на кінці лопаті. Обертаючись в рідині, лопаті діють на зразок гвинта, а рідина, що оточує пропелер, як би є гайкою і переміщається в напрямку осі мішалки. Це осьовий рух складається з круговим переміщенням рідини, завдяки чому виникає її гвинтовий рух. Якщо гвинтова поверхня пропелера права, а обертання його відбувається за годинниковою стрілкою, то осьовий рух рідини направлено вгору. Пропелерні мішалки застосовують для рідин з діапазоном динамічної в'язкості до $4,0 \text{ Па}\cdot\text{с}$. При чому в'язкість перемішуваного середовища $0,01 \dots 1,0$ має бути $\text{Па}\cdot\text{с}$ [4].

На рисунку 3.3 приведена схема змішувача з пропелерною мішалкою.



1 – корпус; 2 – мішалка; 3 – вал; 4 – труба для передавлювання; 5 – привід;
6 – кришка; 7 – люк-лаз

Рисунок 3.3 – Змішувач з пропелерною мішалкою

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висока насосна дія, а також хороша циркуляція вмісту посудини при ефективному перемішуванні є характерними для змішувачів такого типу.

3.2 Порівняння основних показників розроблених конструкцій апаратів з аналогами

Розробляються конструкції апарату зворотного осмосу та змішувача.

Порівняння основних показників конструкції апарату зворотного осмосу з аналогами описані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння основних показників конструкції апарату зворотного осмосу з аналогами

Параметр	Зворотній осмос	Випарювання	Іонний обмін
Продуктивність, кг/с	5 (1)	5 (1)	5 (1)
Якість готового продукту, кг/кг	$1,234 \cdot 10^{-3}$ (1)	$1,357 \cdot 10^{-3}$ (0)	$1,357 \cdot 10^{-3}$ (0)
Питомі енерговитрати	4897 Дж/кг (1)	2200 кДж/кг (0)	7600 Дж/кг (0,5)
Неперервність дії	так (1)	так (1)	ні (0)
Додаткове обладнання	так (0)	ні (1)	так (0)
Габаритні розміри, мм	H = 2925, D = 200 (1)	H = 13000, D = 800 (0)	H = 800, D = 600 (0,5)
Сума балів	5	3	2

Зворотній осмос оснований на фільтруванні розчинів під тиском через напівпроникні мембрани, що пропускають розчинник, але затримують речовини що розчинюються. Розділення проходить без фазових перетворень при температурі оточуючого середовища, тому затрати енергії значно менше ніж при розділенні іншими методами. Мала енергоємність і відносна простота апаратурного оформлення забезпечує високу економіку ефективність зворотного осмосу.

Ще однією перевагою є те, що вони не накопичують домішки всередині себе, що виключає вірогідність їх попадання в очищену воду. Тому навіть при погіршенні параметрів води, що очищується, якість очищеної води стабільно висока [5].

Порівняння основних показників конструкції змішувача з аналогами описані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняння основних показників конструкції змішувача з аналогами

Параметр	Пропелерна мішалка	Лопатева мішалка	Турбінна мішалка
Діаметр мішалки	360 (0,5)	500 (0)	350 (1)
Кількість обертів мішалки, хв^{-1}	479 (1)	90 (0)	400 (0,5)
Потужність приводу, кВт	5,3 (0,5)	0,25 (1)	7,5 (0)
Об'єм ємності апарату, м^3	1,4 (0,5)	0,5 (1)	2,5 (0)
Сума балів	2,5	2	1,5

Пропелерна мішалка може бути безпосередньо з'єднана з електродвигуном без проміжної передачі, що знижує капіталовкладення і підвищує ККД приводу. Електродвигун при цьому отримує навантаження після досягнення великого числа обертів, а, отже, не вимагає запасу потужності на період пуску.

3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

Для вибору матеріалу використовуємо технічні вимоги і технічну характеристику, яким має задовольняти апарати. Великий вплив на вибір матеріалу апарату має область його використання. Оскільки апарат зворотного осмосу і змішувач використовуються для очищення води (для харчових, фармацевтичних потреб), то обираємо корозійностійкі матеріали. Виникнення корозії ускладнює очистку та дезінфекцію, що може негативно вплинути на підтримку асептичних

умов. Враховуючи, що тиск в апараті зворотнього осмосу становить 5 МПа в змішувачі 0,1 МПа, а до апаратів висуваються високі вимоги асептичності, то обираємо сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.

Це повністю задовольняє наш конкретний випадок і дає можливість в разі необхідності використовувати даний апарати в інших промислових виробничих схемах. В якості матеріалу для виготовлення мембран використовуємо ацетат целюлози. Тип мембран МГА-90.

3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки

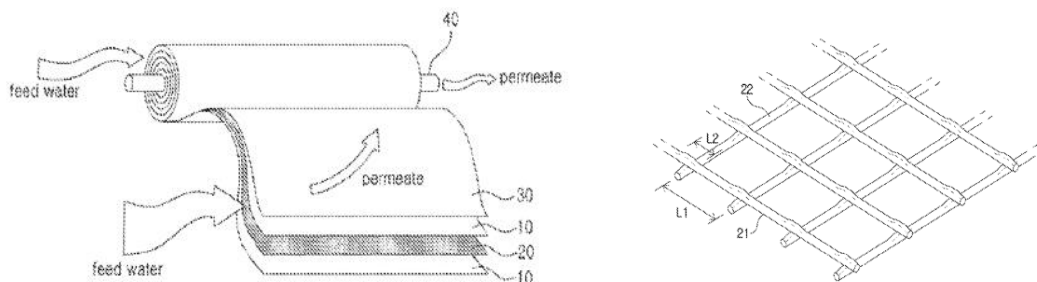
Для знаходження об'єктів порівняння та перевірки патентної чистоти конструкцій апарата зворотного осмосу та змішувача проведений патентний пошук.

Для докладного аналізу було обрано патенти [6 – 15].

Даний винахід [6] являє собою зворотноосмотичний фільтрувальний модуль, зокрема, який включає в себе вдосконалену прокладку подачі, яка має асиметричний діаметр у перетині, в якому перший набір ниток і другий набір ниток перетинається, тим самим зменшуючи диференціальний тиск, збільшуючи площу поперечного перерізу траєкторії потоку, і пом'якшуючи концентраційну поляризацію, розвиваючи вихровий потік.

Модуль (рисунок 3.4) включає в себе мембрану зворотного осмосу 10, прокладку 20 для подачі, канал 30 для виходу пермеату та трубку 40, що має отвір (не показаний) для розміщення проникної рідини в поздовжньому напрямку. Конфігурація прокладки 20 для подачі відповідно до даного винаходу розроблена таким чином, що комплект 21 ниток та комплект 22 ниток мають асиметричний діаметр у перетині L2, в якому комплект 21 і 22 ниток перетинаються, і в результаті можна зменшити диференціальний тиск шляхом збільшення площі поперечного перерізу траєкторії потоку та пом'якшити опір концентраційної поляризації шляхом досягнення вихрового потоку.

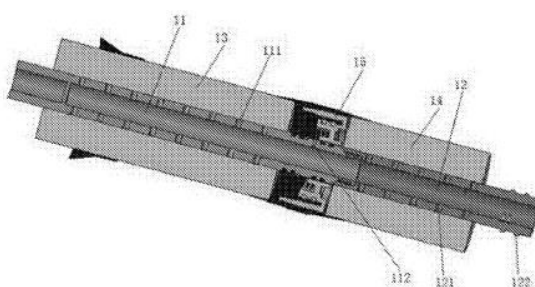
					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



10 - мембрана зворотного осмосу, 20 - прокладка для подачі, 21 – перший набір ниток, 22 – другий набір ниток, 30 – канал виходу пермеату, 40 – трубка.

Рисунок 3.4 – Зворотноосматичний модуль з зображенням вдосконаленою прокладкою для подачі

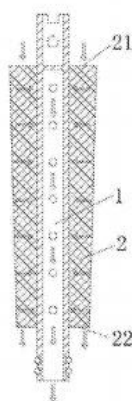
Винахід [7] (рисунок 3.5) відноситься до мембранного фільтра зворотного осмосу, має регулюючий клапан, в якому корпус містить фільтр, розташований у корпусі циліндра, при цьому корпус картриджа містить колекторну трубу через циліндричний корпус. Вказана множина отворів для колекторів визначає набір водопровідних труб, що покриває поверхню першим комплектом труб зворотноосматичної плівки, а друга плівка розташовується між першою плівкою та другою плівкою зворотного осмосу, що має регулюючий клапан. Регулюючий клапан і циліндр є герметичними, а колекторні труби співпрацюють. Відповідно винахід має високу ефективність очищення.



11 – перша труба, 111, 121 – колекторні отвори, 112, 12 – вентиляційні отвори, 122 – муфта, 13 – перша плівка ЗО, 14 – друга плівка ЗО, 15 – регулюючий клапан.

Рисунок 3.5 – Зворотноосматичний мембранний картридж, що має регулюючий клапан

Винахід [8] (рисунок 3.6) допомагає стримувати швидкість потоку на обох кінцях, не допускає уповільнення швидкості потоку всередину виходу води, призводить до проходження чистої води через потік. У внутрішній частині мембранної плівки утворюється керований шар чистої води, що утворює направляючий шар води у сусідні шари плівки. Один кінець фільтра трубки - це вихідний отвір, інший кінець – вхідний отвір, в якому площа пропускання води несучого водяного шару більша, ніж площа пропускання води несучого водяного шару на виході з водяного отвору. Швидкість потоку води поступово зменшується вздовж осьового напрямку, завдяки чому чиста вода проходить через потік і навіть відбувається очищення від осадження неорганічних солей, іонів важких металів, що впливає на термін служби фільтрувального елемента зворотного осмосу. Крім того, це також гарантує, що тиск на вихідному кінці фільтра зворотного осмосу не зменшується значно по відношенню до вхідного краю, що забезпечує ефективність очищення води по всій довжині фільтра.



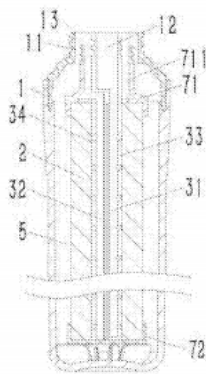
1 – центральна трубка, 2 плівка, 21 – вхідний отвір, 22 – вихідний отвір

Рисунок 3.6 – Зворотноосматичний модуль

Винахід [9] (рисунок 3.7) являє собою фільтр зворотного осмосу бічного потоку, який вирішує проблему того, що мембранний елемент не повністю використовується в попередньому рівні техніки, швидкість фільтрації є повільною, і фільтраційний ефект не є ідеальним

Технічне рішення для вирішення проблеми, в основному, включає встановлення каналу чистої води та концентрованого водяного проходу в центрі фільтра, а канали для чистої води та концентрований водний прохід відповідно з'єднані з входом для чистої води та входом концентрованої води. Мембранний елемент намотується навколо очищеного водного каналу, а фільтр зворотного осмосу утворюється за межами водяного проходу. Між сусідніми двома мембранними елементами утворюється спіраль-формлений центрально прохідний проточний водяний потік. Мембранний елемент розташований в кінці бічної стінки фільтра зворотного осмосу, щоб утворити подачу сирої води, з'єднану з каналом води. Від зовнішньої сторони фільтра зворотного осмосу та внутрішньої сторони зовнішнього корпусу утворюється камера для прийому сирої води.

Винахід основному використовується для очищеної води зворотного осмосу.



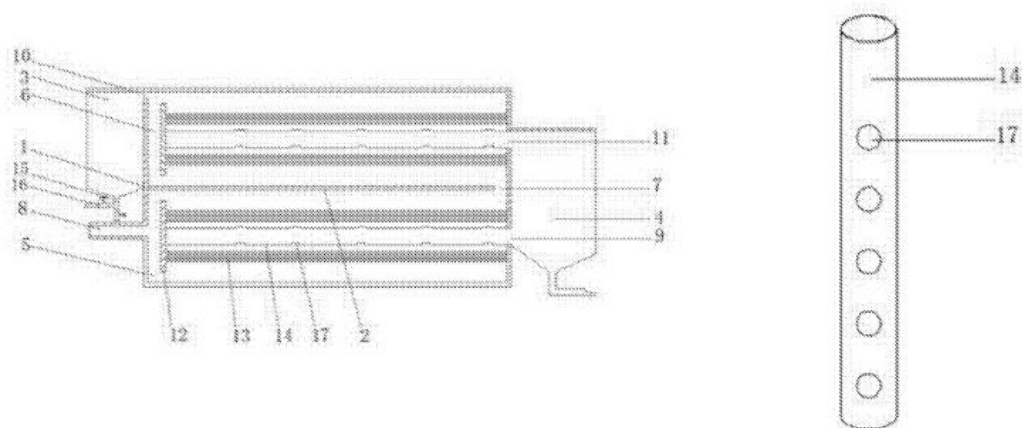
1 – корпус; 2 - мембранний елемент; 5 - камера подачі води; 211 – водний канал; 11 – вхід води; 12 – вихід води; 13 – вихід концентрованої води;
 31 – очищуючий водяний прохід; 32 – концентруючий водяний прохід;
 33 – перша центральна трубка; 34 – друга центральна трубка; 71 – верхня торцева кришка; 72 – нижня торцева кришка; 711 – регулятивна стінка.

Рисунок 3.7 – Зворотноосматичний модуль

У корисній моделі [10] (рисунок 3.8) розкритий мембранний фільтр зворотного осмосу, який складається з основного корпусу, в якому розподільна пластина розташована посередині, резервуар для зберігання води фіксується на

ньому, а інший кінець основного корпусу фіксується з резервуаром з чистою водою. Внутрішня частина основного корпусу ділиться на перший фільтровий стовпчик і другий фільтровий стовпчик

Корисна модель має кращий фільтраційний ефект, що значно збільшує швидкість очищення очищеної води та уникає витрачання водних ресурсів.

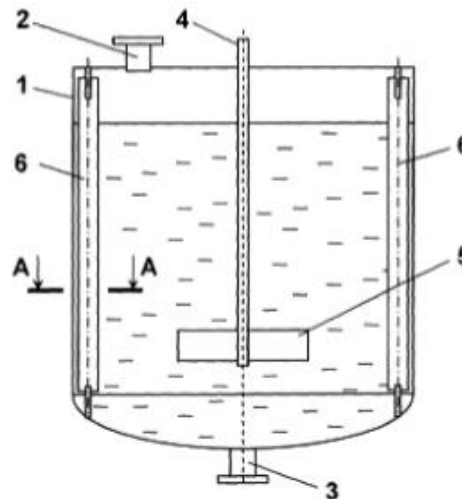


1 – корпус, 2 – ізоляційна плита, 3 – резервуар для зберігання води,
4 – резервуар для зберігання чистої води, 5 – перший стовпчик фільтра;
6 – другий стовпчик фільтра; 7 – порт зв'язку; 9 – перша розетка;
10 – розетка води; 11 – розетка; 12 – фіксована плита; 13 – мембрана
зворотного осмосу; 14 – центральна трубка; 15 – рівнева "Т"-подібна трубка; 16 –
кран; 17 – отвори для просочування води.

Рисунок 3.8 – Зворотноосматичний модуль

У патенті [11] описується пристрій (рисунок 3.9) який являє собою апарат для перемішування рідин, що містить вертикальний циліндричний корпус з патрубками, розташований вздовж осі корпуса вал з мішалкою, а також змонтовані по висоті корпуса поблизу його внутрішньої поверхні елементи для впливу на перемішувану рідину. Кожний із елементів для впливу на перемішувану рідину виконано у вигляді листової або спіральнolistової вільно обертової мішалки.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалити апарат для перемішування рідин, у якому його нове конструктивне виконання (кожний із елементів виконано у вигляді листової або спіральнолистової вільно обертової мішалки) забезпечує ефективне руйнування та перемішування пристінного шару оброблюваної рідини, а отже інтенсифікацію процесу перемішування.

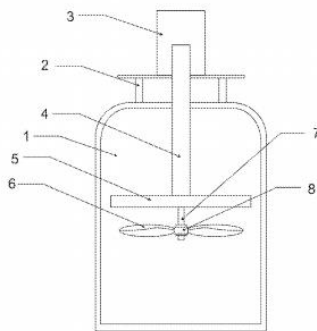


1 - вертикальний циліндричний корпус, 2,3 – патрубки, 4 – вал,
5 – мішалка, 6 - елементи для впливу на перемішувану рідину.

Рисунок 3.9 – Апарат для перемішування рідини

Зображений змішувач [12] (рисунок 3.10) для рідкої стровини містить корпус з резервуаром, кронштейн встановлюється на верхній частині корпусу резервуару, а гідравлічна машина закріплена на кронштейні болтом. Вихідний вал гідравлічної машини простягається в бак для перемішування, а нижня частина вихідного валу має пневматичну плиту. Середня частина пневматичної плити має фіксований вал, який зварюється з нею. Зовнішній край фіксуючого валу має рукоятку з підшипником, а зовнішній край підшипника з пропеллером.

Винахід вирішує проблеми низької ефективності перемішування та нерівномірного перемішування. Структура винаходу є простою та практичною.

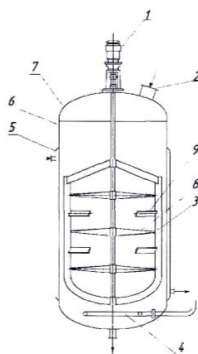


1 - резервуар, 2 – кронштейн, 3 - гідравлічна машина, 4 - вихідний вал,
5 – пневматична плита, 6 – пропелер, 7 - фіксований вал, 8-підшипник.

Рисунок 3.10 - Пристрій для змішування

Апарат для перемішування текучих середовищ [13], (рисунок 3.11), що містить корпус, перемішуючий пристрій та барботер, причому на перемішуючому пристрої встановлені гвинтові перегородки та додаткові пластини, які нахилені під кутом напрямку колової швидкості, що дозволяє створити аксіальні потоки для більш інтенсивного перемішування.

Пропонована конструкція дозволяє інтенсифікувати процес перемішування, гвинтовими перегородками та додатково встановленими пластинами, які повернуті на деякий кут до напрямку колової швидкості, що дозволяють створювати вертикальні складові потоків.

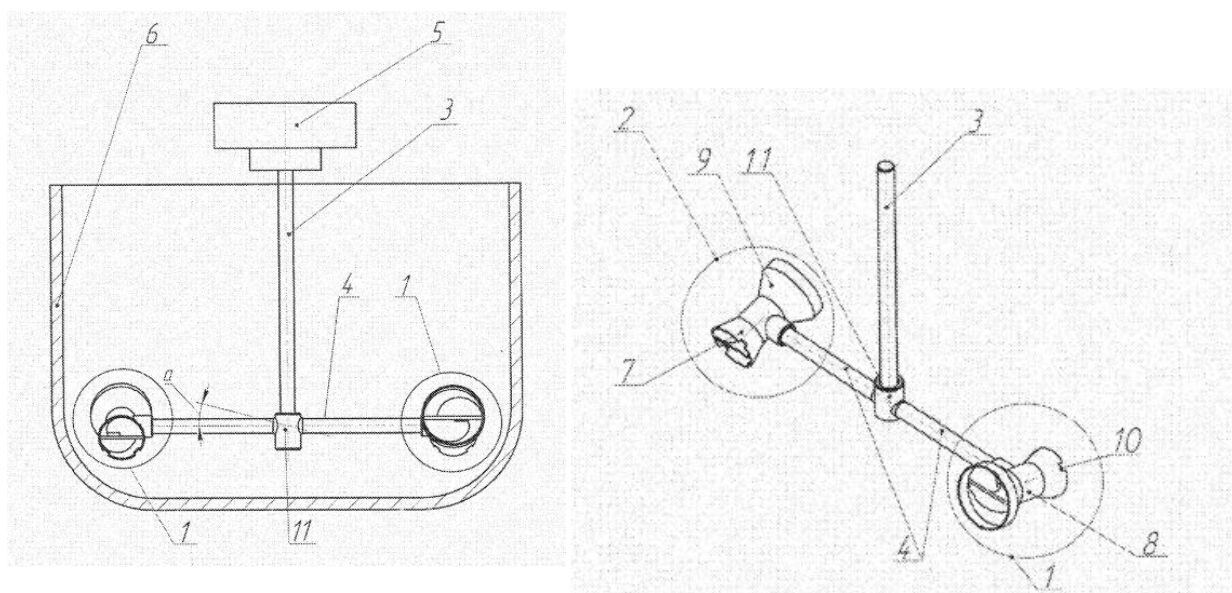


1 - привод, 2 - вхідний патрубок, 3 - рамна мішалка, 4 - барботер, 5 - оболонка, 6 - корпус, 7 – кришка, 8 - гвинтові перегородки, 9 - додаткові пластини.

Рисунок 3.11 – Апарат з перемішуючим пристроєм

Пристрій для змішування рідких середовищ [14] (рисунок 3.12) складається з одного і більше змішуючих елементів, кожен із яких складається з конфузора, прямої ділянки і дифузора з вирізами. Характеризується тим, що змішуючі елементи мають завихрювачі які виконані у вигляді правозакрученої або лівозакрученої вздовж продольної вісі пластини з можливістю створення додаткових турбулентних потоків.

В результаті виконаного вдосконалення знижується час змішування необхідного ступеня змішування, розчинення, емульгування, диспергування, суспендування, знижуються енергетичні витрати, видаляються застійні зони в межах резервуара змішування.



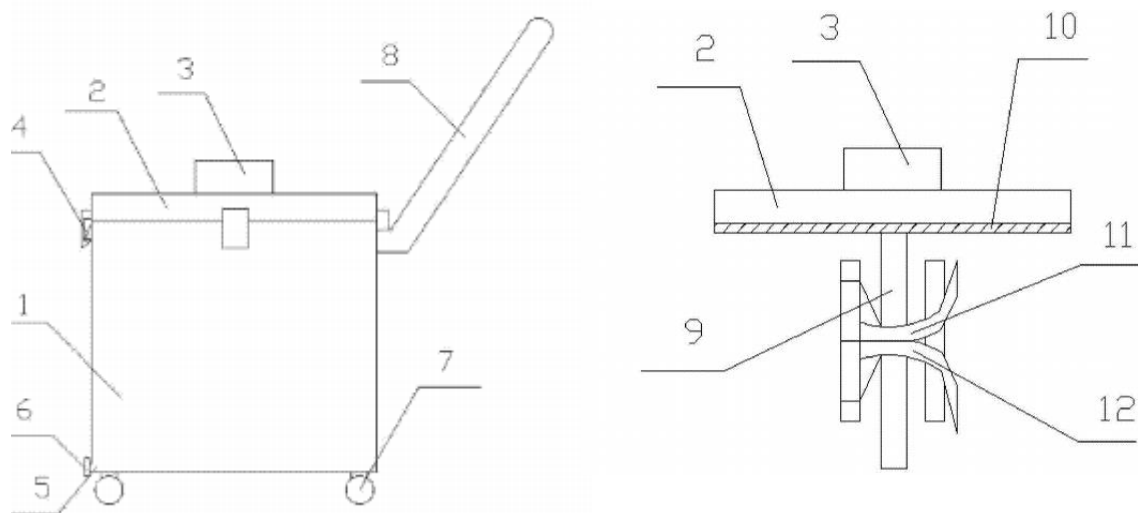
1 – змішуючий елемент з завихрювачем у вигляді правозакрученої в спіраль пластини, 3 - вал; 4 - штанга кріплення змішуючого елемента; 5 - електродвигун;
6 – ємність для змішування; 7 - дифузор; 8 – пряма ділянка змішуючого елемента; 9 - конфузор; 10 - виріз дифузора; 11 – хрестовина.

Рисунок 3.12 - Пристрій для змішування рідких середовищ

Розроблений апарат [15] (рисунок 3.13) являє собою перемішувальний пристрій, який включає в себе перемішувальну коробку, в якій коробка для змішування забезпечена коробковою кришкою, а кришка коробки забезпечена

пряжкою, яка зачеплюється мішковим коробком з чотирьох сторін. Нижня частина кришки забезпечена поворотним стрижнем, а поворотний стрижень забезпечений опорним стрижнем, а опорний стрижень симетрично забезпечений двома порожнистими порожнистими стрижнями форми "Y". Стрижень для перемішування ділиться на стрижень з верхнім перемішуванням та стрижень з нижнім перемішуванням. Впускний і вихідний отвір стрижні орієнтуються в горизонтальному напрямку, а верхівка кришки забезпечена двигуном, приєднаним до валу обертального стрижня.

Під час процесу перемішування проміжна рідина може бути розпорошена з обох сторін, і змішання можна зробити більш однорідним.



1 - змішувальна коробка, 2 - ящикова кришка, 3 - моторна, 4 - пряжка, 5 - розетка для води, 6 - гумова пробка, 7 - універсальне колесо, 8 - ручка,
9 - поворотний стрижень, 10 - , 11 – верхній стрижень з перемішуванням,
12 - нижній межучий стрижень.

Рисунок 3.13 - Пристрій для змішування рідких середовищ

Висновок: В результаті проведених патентних досліджень встановлено, що конструкції апарату зворотного осмосу і змішувача, що розроблюються за основними характеристиками не поступається розглянутим аналогам і

відповідають сучасному рівню розвитку техніки. Основна увага у сучасних патентах приділяється підвищенню ефективності роботи апаратів, зменшення їхньої матеріалоємності і затрат енергії на одержання одиниці продукції, спрощення конструкції. Документація щодо патентного пошуку наведено у додатку В.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій

4.1 Наукові дослідження

4.1.1 Мета і задачі дослідження.

Метою дослідницької частини дисертації є визначення впливу технологічних параметрів на величину опору шару концентраційної поляризації та гідравлічного опору мембранних модулів, а також отримання розрахункових залежностей.

Задачі дослідження:

Розробка методики експериментального визначення опору шару концентраційної поляризації.

Проведення дослідів з визначення опору шару концентраційної поляризації.

Розробка математичної моделі течії рідини в мембранному каналі.

Отримання розв'язку математичної моделі методом теорії подібності.

Експериментальне визначення гідравлічного опору мембранного модуля.

Отримання критеріальної залежності.

Об'єкт дослідження – явище концентраційної поляризації та течія рідини в напірних каналах мембранних модулів.

Предмет дослідження – вплив технологічних параметрів на величину опору шару концентраційної поляризації та гідравлічного опору мембранного модуля.

Методи дослідження

- Експериментальне визначення величини опору концентраційної поляризації
- Математичне моделювання процесів.
- Метод теорії подібності.
- Визначення достовірності результатів моделювання та їх статистичний аналіз.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

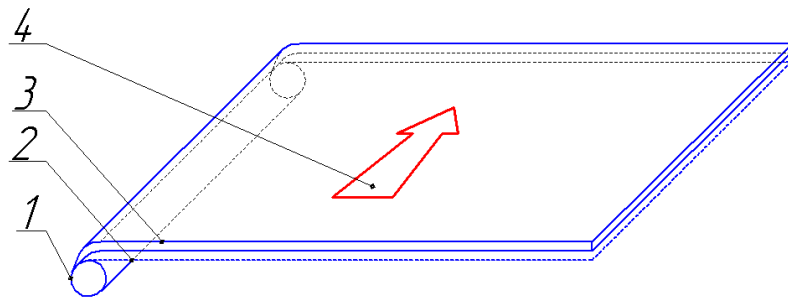
Наукова новизна одержаних результатів

- Отримали подальший розвиток уявлення про залежність концентрації від опору.
- Встановлено відсутність впливу тиску на величину опору шару концентраційної поляризації.
- Отримано критеріальне рівняння для розрахунку гідравлічного опору напірного каналу мембранного модуля.

4.1.2 Дослідження гідравлічного опору в апараті зворотного осмосу

4.1.2.1 Математична модель течії в каналах мембранного модуля

При розгляді течії рідини в каналах рулонованого модуля (при визначенні рівняння для розрахунку гідравлічного опору), а рулонований мембранний модуль умовно розгорнемо в площину, як показано на рисунку 4.1. Це дозволяє досліджуваний геометричний простір представити у вигляді паралелепіпеда, як показано на рисунку 4.2 і для аналізу використовувати Декартову систему координат [1].



1 – центральна труба; 2 – сітка-сепаратор; 3 – пакет мембран;

4 – напрямок руху промивного розчину.

Рисунок 4.1 – Схема умовно розгорнутого в площину мембранного модуля

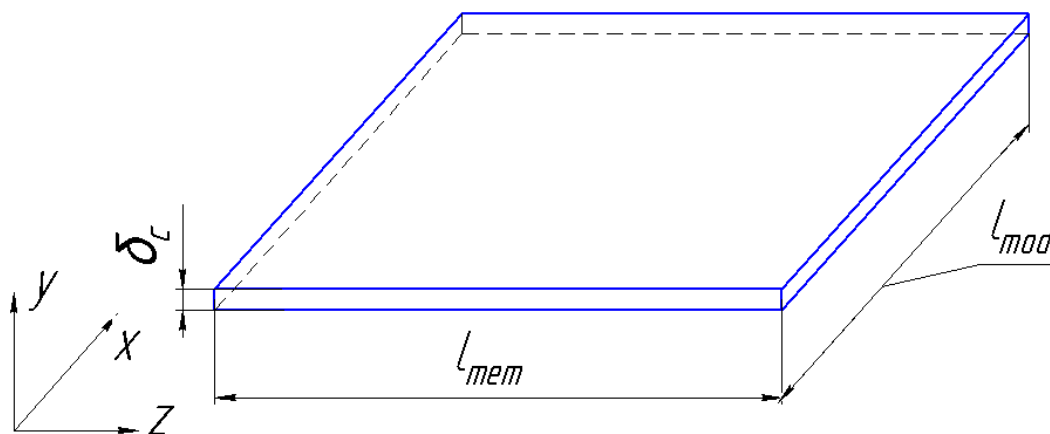


Рисунок 4.2 – Схема досліджуваного геометричного простору напірного каналу в Декартовій системі координат

При цьому нижня і верхня грань паралелепіпеда представляє поверхню мембранного полотна.

4.1.2.2 Розв'язання математичної моделі течії в каналах мембранного модуля методом теорії подібності

Для визначення рівняння, яке дозволить розраховувати гідравлічний опір при русі промивного розчину в каналах рулонованого модуля приймемо такі допущення: процес перенесення маси розглянемо як квазістаціонарний процес [16], а мембранний модуль розглядався умовно розгорнутим в площину (рисунок 4.1).

Рівняння (4.1) містить невідомі компоненти швидкості, які можуть бути визначені з системи рівнянь Нав'є-Стокса [17-19]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_x}{\partial t} + W_x \frac{\partial W_x}{\partial x} + W_y \frac{\partial W_x}{\partial y} + W_z \frac{\partial W_x}{\partial z} &= g_x - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \left(\frac{\partial^2 W_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W_x}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial W_y}{\partial t} + W_x \frac{\partial W_y}{\partial x} + W_y \frac{\partial W_y}{\partial y} + W_z \frac{\partial W_y}{\partial z} &= g_y - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dy} + \nu \left(\frac{\partial^2 W_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W_y}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial W_z}{\partial t} + W_x \frac{\partial W_z}{\partial x} + W_y \frac{\partial W_z}{\partial y} + W_z \frac{\partial W_z}{\partial z} &= g_z - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dz} + \nu \left(\frac{\partial^2 W_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W_z}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Також необхідно врахувати рівняння нерозривності [17-19]:

$$\frac{\partial W_x}{\partial x} + \frac{\partial W_y}{\partial y} + \frac{\partial W_z}{\partial z} = 0 \quad (4.2)$$

Система рівнянь (4.1) – (4.2) описує течію в каналах рулонованого мембранного модуля. В силу своєї складності, вона не може бути розв'язана в загальному випадку і потребує спрощень. Для цього проаналізуємо вплив компонентів рівнянь на процес. Оскільки довжина мембранного пакету l_{mem} в тричі більша за довжину мембранного модуля l_{mod} та більша за ширину мембранного каналу (товщину сітки-сепаратора) на чотири порядки, можна припустити, що швидкість W_z нехтовно мала, порівняно з іншими компонентами. Також з цієї причини можна знехтувати зміною параметрів по осі z (рисунок 4.2). В прийнятих робочих умовах внутрішні джерела відсутні, тому їх не враховуємо. Гравітаційна складова вважається нехтовно малою, порівняно з силами тиску.

Розглядаючи усталену течію для квазістаціонарного процесу, систему рівнянь (4.1) – (4.2) після спрощень можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} W_x \frac{\partial W_x}{\partial x} + W_y \frac{\partial W_x}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \left(\frac{\partial^2 W_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_x}{\partial y^2} \right) \\ W_x \frac{\partial W_y}{\partial x} + W_y \frac{\partial W_y}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dy} + \nu \left(\frac{\partial^2 W_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_y}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial W_x}{\partial x} + \frac{\partial W_y}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Щоб отримати однозначний розв'язок системи рівнянь (4.3) необхідно сформулювати граничні умови.

Враховуючи явище адгезії на поверхні стінок каналів при русі в них рідини [20], швидкості на гранях паралелепіпеда будуть дорівнювати нулю. На вході в мембранний канал профіль швидкості ще не сформувався і компоненти W_x та W_y будуть однакові і дорівнювати відношенню об'ємної витрати промивного розчину до площі поперечного перерізу [21]. Звідси випливає, що граничні умови можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} W_x = W_y = W_0 \text{ при } x = 0 \\ W_x = W_y = 0 \text{ при } y = 0 \text{ та } y = \delta_c \end{cases} \quad (4.4)$$

Система рівнянь (4.3) з граничними умовами (4.4) описує гідродинаміку при течії рідини в каналі мембранного модуля. Незважаючи на спрощення запропонована модель залишається складною для розв'язання аналітичними та числовими методами. Тому для знаходження розв'язку скористаємося методом теорії подібності, що дозволить отримати структуру критеріального рівняння для розрахунку коефіцієнтів розчинення [17, 19]. Знаходження коефіцієнтів критеріального рівняння необхідно проводити експериментальним шляхом.

Для розв'язку системи рівнянь (4.3) за граничних умов (4.4) необхідно привести їх до безрозмірного вигляду. Для цього була використана методика, що наведена в роботі [17].

Для початку розглянемо рівняння, яке описує течію рідини в каналі рулонованого мембранного модуля в напрямку осі Ox , як показано на рисунку 4.2 (друге рівняння в системі (4.3)):

$$W_x \frac{\partial W_x}{\partial x} + W_y \frac{\partial W_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \left(\frac{\partial^2 W_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_x}{\partial y^2} \right) \quad (4.5)$$

Введемо безрозмірні змінні:

Безрозмірну швидкість вздовж осі Ox :

$$W_x^* = \frac{W_x}{W} \quad (4.6)$$

де W – визначальна (середня) швидкість течії рідини в каналах рулонованого модуля, м/с.

Безрозмірну швидкість вздовж осі Oy :

$$W_y^* = \frac{W_y}{W} \quad (4.7)$$

Безрозмірний тиск:

$$p^* = \frac{p}{\Delta p} \quad (4.8)$$

де Δp – перепад тиску по довжині напірного каналу рулонованого мембранного модуля.

Безрозмірні координати (для спрощення записів координат позначимо довжину модуля L , тобто $L = l_{mod}$ (дивись рисунок 4.2)):

$$x^* = \frac{x}{L} \quad (4.9)$$

де L – довжина мембранного модуля, м.

$$y^* = \frac{y}{d_e} \quad (4.10)$$

де d_e – еквівалентний (гідравлічний) діаметр, м.

Для досліджуваних мембранних модулів довжина модуля становить 0,26 м.

Еквівалентний діаметр визначається за формулою [18]:

$$d_e = \frac{4S}{\Pi}, \quad (4.11)$$

де S – площа поперечного перерізу каналу мембранного модуля, м²;

Π – змочений периметр каналу, м.

З урахуванням геометрії каналу (рисунок 4.2) площа поперечного перерізу визначатиметься $S = \delta_c \cdot L$, а змочений периметр $\Pi = 2(\delta_c + L)$. Тоді вираз (4.11) можна переписати:

$$d_e = \frac{4\delta_c L}{2(\delta_c + L)} = \frac{2\delta_c L}{(\delta_c + L)}, \quad (4.12)$$

Враховуючи, що розмір сітки-сепаратора для розглядуваного типу мембран становить $\delta_c = 0,35 \cdot 10^{-3}$ м, тобто на чотири порядки менше за L можна записати:

$$d_e = \frac{2\delta_c L}{(\delta_c + L)} = \frac{2\delta_c L}{L} = 2\delta_c, \quad (4.13)$$

Отримане значення еквівалентного діаметру в подальшому використовуватимемо як визначальний розмір в критеріях подібності (в тому числі і геометричних симплексах).

Підставимо отримані безрозмірні змінні (4.7) – (4.10) в рівняння (4.6):

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{W^2}{L} \frac{W_x}{W} \frac{\partial \left(\frac{W_x}{W} \right)}{\partial \left(\frac{x}{L} \right)} + \frac{W^2}{d_e} \frac{W_y}{W} \frac{\partial \left(\frac{W_x}{W} \right)}{\partial \left(\frac{y}{d_e} \right)} = - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{L} \frac{d \left(\frac{p}{\Delta p} \right)}{d \left(\frac{x}{L} \right)} + \nu \frac{W}{L^2} \frac{\partial^2 \left(\frac{W_x}{W} \right)}{\partial \left(\frac{x}{L} \right)^2} + \nu \frac{W}{d_e^2} \frac{\partial^2 \left(\frac{W_x}{W} \right)}{\partial \left(\frac{y}{d_e} \right)^2} \quad (4.14)$$

або

$$\frac{W^2}{L} W_x^* \frac{\partial W_x^*}{\partial x^*} + \frac{W^2}{d_e} W_y^* \frac{\partial W_x^*}{\partial y^*} = - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{L} \frac{dp^*}{dx^*} + \nu \frac{W}{L^2} \frac{\partial^2 W_x^*}{\partial (x^*)^2} + \nu \frac{W}{d_e^2} \frac{\partial^2 W_x^*}{\partial (y^*)^2} \quad (4.15)$$

В рівнянні (4.15) всі величини «з зірочками» є безрозмірними, решта мають розмірність. Для перетворення цих величин на безрозмірні комплекси поділимо всі доданки в рівнянні (4.15) на величину $\frac{W^2}{L}$. Отримаємо:

$$W_x^* \frac{\partial W_x^*}{\partial x^*} + \frac{L}{d_e} W_y^* \frac{\partial W_x^*}{\partial y^*} = - \frac{1}{\rho W^2} \frac{\Delta p}{L} \frac{dp^*}{dx^*} + \frac{\nu}{WL} \frac{\partial^2 W_x^*}{\partial (x^*)^2} + \frac{\nu}{W d_e} \frac{L}{d_e} \frac{\partial^2 W_x^*}{\partial (y^*)^2} \quad (4.16)$$

В результаті цих перетворень отримані такі безрозмірні комплекси:

$$\frac{WL}{\nu}, \quad (4.17)$$

$$\frac{W d_e}{\nu}, \quad (4.18)$$

$$\frac{\Delta p}{\rho W^2}, \quad (4.19)$$

а також геометричний симплекс $\frac{d_e}{L}$.

Вирази (4.17) та (4.18) відповідають виду критерію Рейнольдса [17], однак відрізняються лінійним розміром. Оскільки в якості визначального розміру був прийнятий еквівалентний діаметр, то помножимо і поділимо вираз (4.17) на d_e .

Отримаємо $\frac{WL}{\nu} \cdot \frac{d_e}{d_e} = \frac{W d_e}{\nu} \cdot \frac{L}{d_e}$. Тоді вираз для Критерію Рейнольдса матиме вигляд:

$$\text{Re} = \frac{W d_e}{\nu}. \quad (4.20)$$

Вираз (4.19) відповідає критерію Ейлера [17]:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho W^2}. \quad (4.21)$$

Аналогічними перетвореннями такі ж безрозмірні комплекси можна отримати з третього рівняння в системі (4.3).

Отже система рівнянь (4.3) може бути представлене у вигляді залежності між цими безрозмірними величинами:

$$f\left(\text{Fr}, Eu, \text{Re}, \frac{L}{d_e}\right) = 0 \quad (4.22)$$

Враховуючи, що шукана величина – перепад тиску по довжині мембранного каналу (гідравлічний опір) Δp – входить до складу критерію Ейлера, а також те, що вплив сили тяжіння незначний і критерій Фруда можна не враховувати, рівняння (4.22) перепишемо у вигляді:

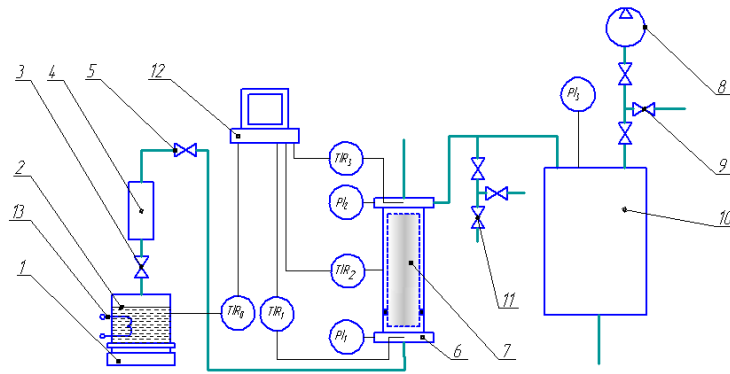
$$Eu = f\left(\text{Re}, \frac{L}{d_e}\right) \quad (4.23)$$

Форма рівняння (4.23) згідно першої теореми подібності [17] визначає величини, які необхідно вимірювати в ході експериментальних досліджень. В даному випадку експериментальна установка повинна забезпечувати можливість вимірювання перепаду тиску по довжині мембрани та середньої швидкості в каналах мембрани. Для визначення густини та коефіцієнту динамічної в'язкості доцільно користуватися довідковими даними. Оскільки в довідниках інформація щодо фізичних властивостей представлена у вигляді температурних залежностей необхідно передбачити вимірювання температури рідини.

4.1.2.3 Опис експериментальної установки

Для проведення експериментальних досліджень згідно обґрунтованої методики досліджень була використана існуюча експериментальна установка, яка використовувалася в попередніх дослідженнях масообміну при регенерації спіральних модулів [17]. Схема установки наведена на рисунку 4.3.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



- 1 – ваги; 2 – ємність з промивним розчином; 3,5 – регулювальний кран;
 4 – ресивер; 6 – промивна камера; 7 – мембранний модуль; 8 – вакуум-насос;
 9 – кран з'єднання з атмосферою; 10 – проміжна ємність;
 11 – відбір проб промивного розчину, 12 персональний комп'ютер;
 13 – нагрівач.

Рисунок 4.3 – Схема експериментальної установки

Установка дозволяє вимірювати витрату ваговим методом, для чого передбачені електронні ваги 1, які неперервно вимірюють масу промивного розчину в ємності 2 підігрітого до заданої температури з точністю 5 гр. Зміна маси за заданий проміжок часу вимірювалася за допомогою електронного секундоміра. Температура вимірюється блоком хромель-копелевих термопар, при чому температура вимірюється на вході в мембранний модуль 7 (TIR_1) та на виході з нього (TIR_3). Додатково передбачено вимірювання температури промивного розчину в ємності 1 (TIR_0) та зовнішньої поверхні експериментальної ємності 6 (TIR_2). Показники термопар реєструвалися на персональному комп'ютері 12 за допомогою програмного модуля IndexTem з частотою 1 вимір в секунду з точністю до 0,2 °C. Вимірювання тиску проводилося за допомогою вакуумметрів на вході в мембранний модуль 7 (PI_1), на виході з нього (PI_2) та в проміжній ємності 10 (PI_3).

Рух промивного розчину забезпечується перепадом тиску між ємністю 2 та ємністю 10, що створюється вакуум насосом 8. Також вакуум-насос 8 забезпечує розрідження, необхідне для реалізації положень фізичної моделі.

Регулювання витрат промивного розчину здійснюється регулювальними кранами 3 та 5. Температура промивного розчину збільшувалася за допомогою електричного нагрівача 13.

Дослідження проводилися з використанням побутових спіральних мембранних модулів Dow Filmtec TW30-1812-50, геометричні параметри якої були відомі згідно даних виробника.

В якості тестового розчину використовувалася знесолена вода (загальний солевміст 5-15 ppm).

4.1.2.4 Методика обробки експериментальних даних

Перепад тисків по довжині мембрани (гідравлічний опір) визначалася к різниці тисків на вході та виході в мембрану, швидкість в руху рідини розраховувалася за значенням масової витрати за залежністю:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho W^2} \quad (4.24)$$

$$w = \frac{G}{\rho \cdot S} \quad (4.25)$$

де G – масова витрата рідини в каналах мембранного модуля, кг/с;

S – площа поперечного перерізу каналів мембранного модуля, м²;

ρ – густина тестового розчину, кг/м³.

Фізичні властивості рідини визначалися за визначальною температурою (середнє арифметичне значення температур на вході та виході з мембранного модуля) за довідковими даними [22]. За цими даними розраховувалися значення критерію Рейнольдса та Ейлера.

Згідно [17], критеріальні рівняння доцільно шукати у степеневому вигляді, тобто рівняння (4.23) можна представити у вигляді:

$$Eu = C \cdot Re^n \cdot \left(\frac{L}{d_e} \right) \quad (4.26)$$

де C, n – коефіцієнти.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Для знаходження значення невідомих коефіцієнтів доцільно використати метод найменших квадратів [23], при чому розрахунки суттєво спростяться, якщо рівняння (4.26) прологарифмувати:

$$\lg(Eu) = \lg\left(C \cdot Re^n \cdot \left(\frac{L}{d_e}\right)\right) \quad (4.27)$$

або

$$\lg(Eu) = \lg\left(C \cdot \left(\frac{L}{d_e}\right)\right) + n \cdot \lg(Re) \quad (4.28)$$

Рівняння (4.28) є рівнянням прямої лінії в логарифмічній системі координат. В такому разі невідомі коефіцієнти можна знаходити з використанням методу найменших квадратів для лінійної функції.

4.1.2.5 Визначення коефіцієнту n (показника степеня при критерії Рейнольдса)

За описаною вище методикою було проведено серію експериментів, за якими визначено 187 значень критерію Рейнольдса та відповідних значень критерію Ейлера. Досліди проводилися в діапазоні значень критерію Рейнольдса [0,4, 60]. Результати досліджень представлені на рисунок 4.4.

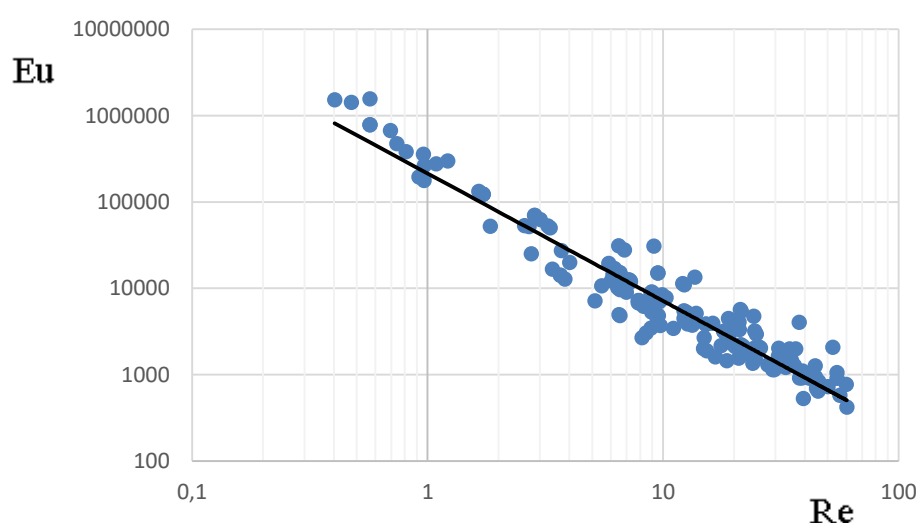


Рисунок 4.4 – Залежність критерію Ейлера від критерію Рейнольдса

Як видно з рисунку 4.4, отримана залежність близька до лінійної. В такому разі значення коефіцієнту n , який є показником степеню при критерію Рейнольдса, може бути знайдений за методом найменших квадратів [23], для чого необхідно розрахувати значення логарифмів критерію Рейнольдса та Ейлера, квадрату значення логарифму критерію Ейлера та добутку логарифмів критеріїв Рейнольдса та Ейлера, а також їх суми (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 Розрахунок коефіцієнту n

Кількість дослідів, m	$\sum \lg(\text{Re})$	$\sum \lg(\text{Eu})$	$\sum [\lg(\text{Re})]^2$	$\sum [\lg(\text{Re}) \cdot \lg(\text{Eu})]$
187	190,9	714,85	237,64	666,6

Тоді коефіцієнт n можна розрахувати за формулою [23]:

$$n = \frac{m \sum [\lg(\text{Re}) \cdot \lg(\text{Eu})] - \sum \lg(\text{Re}) \sum \lg(\text{Eu})}{m \sum [\lg(\text{Re})]^2 - (\sum \lg(\text{Re}))^2} = \frac{187 \cdot 666,6 - 190,9 \cdot 714,85}{187 \cdot 237,64 - 190,9^2} = -1,476$$

Отримане значення можна використовувати в критеріальному рівнянні. На даному етапі значення коефіцієнта C не розраховуються, оскільки необхідно також врахувати вплив геометричного симплексу L/d_e .

4.1.2.6 Визначення виду критеріального рівняння

Оскільки показник степеня при критерії Рейнольдса визначений, а відповідно до [17] зміна тиску по довжині каналу відбувається майже лінійно, шукану функцію можна представити у вигляді:

$$\text{Eu} = C \cdot \text{Re}^{-1,476} \cdot \left(\frac{L}{d_e} \right) = C \cdot K \quad (4.29)$$

При цьому показник степеня при комплексі $K = \text{Re}^{-1,476} \cdot (L/d_e)$ у разі правильного визначення значення коефіцієнту n та припущення щодо лінійної

зміни тиску по довжині каналу має дорівнювати одиниці. Графік залежності критерію Ейлера від комплексу $K = Re^{-1,476} \cdot (L/d_e)$ наведено на рисунку 4.5.

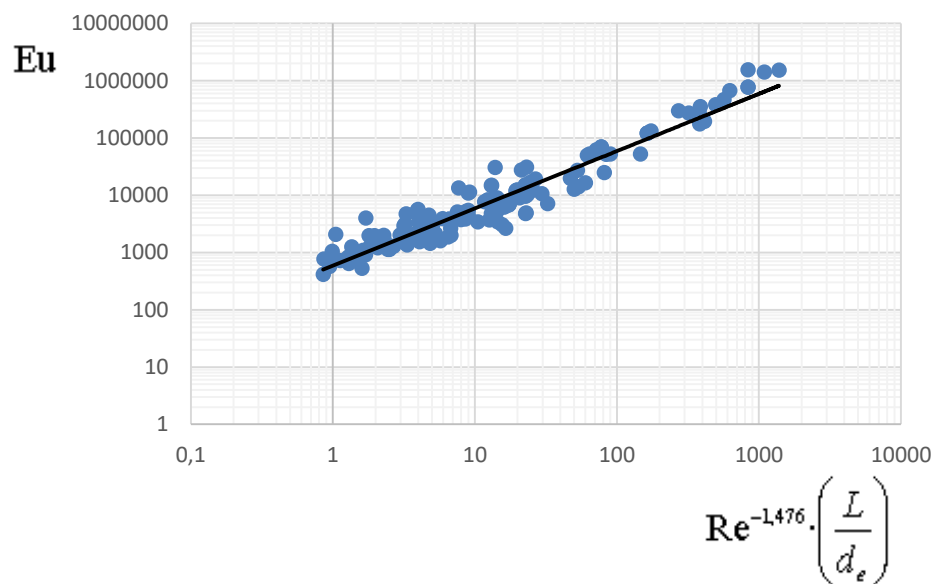


Рисунок 4.5 – Залежність критерію Ейлера від критерію Рейнольдса

Отримана залежність достатньо точно лінеаризується в логарифмічних координатах, розрахункові величини для знаходження коефіцієнтів в критеріальному рівнянні наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Розрахунок коефіцієнтів в критеріальному рівнянні

Кількість дослідів, m	$\sum \lg(K)$	$\sum \lg(Eu)$	$\sum [\lg(K)]^2$	$\sum [\lg(K) \cdot \lg(Eu)]$	$\sum [\lg(Eu)]^2$
187	196,9	714,85	300,49	845,9	2833,5

Тоді коефіцієнти в критеріальному рівнянні розраховуються за формулами [23]:

$$b = \frac{\sum \lg(Eu) \sum [\lg(K)]^2 - \sum \lg(K) \sum [\lg(K) \lg(Eu)]}{m \cdot \sum [\lg(K)]^2 - (\sum \lg(K))^2} = \frac{300,45 \cdot 714,85 - 196,9 \cdot 845,9}{187 \cdot 300,49 - 196,9^2} = 2,769$$

$$C = 10^b = 10^{2,769} = 588$$

$$n = \frac{m \cdot \sum [\lg(K) \lg(Eu)] - \sum \lg(K) \sum \lg(Eu)}{m \cdot \sum [\lg(K)]^2 - (\sum \lg(K))^2} = \frac{187 \cdot 845,9 - 196,9 \cdot 714,85}{187 \cdot 300,49 - 196,9^2} = 1,0003$$

Показник степеня згідно розрахунку виходить рівним 1,0003, що відрізняється від 1 на величину похибки обчислень. Отже прийняті припущення виявляються вірними, а критеріальне рівняння остаточно записується у вигляді:

$$Eu = 588 Re^{-1,476} \cdot \left(\frac{L}{d_e} \right) \quad (4.30)$$

Для перевірки існування залежності розрахуємо вибірковий коефіцієнт кореляції [23]:

$$r^* = b \sqrt{\frac{m \cdot \sum [\lg(K)]^2 - (\sum \lg(K))^2}{m \cdot \sum [\lg(Eu)]^2 - (\sum \lg(Eu))^2}} = 2,769 \sqrt{\frac{187 \cdot 300,49 - 196,6^2}{187 \cdot 283,5 - 714,85^2}} = 0,9614$$

Вибірковий коефіцієнт кореляції близький до одиниці, що свідчить про достатньо високий рівень точності отриманого рівняння (4.30). Перевіримо умову існування залежності [23]:

$$|r^*| - \frac{1,96(1 - (r^*)^2)}{\sqrt{n}} = |0,9614| - \frac{1,96(1 - 0,9614^2)}{\sqrt{187}} = 0,9505$$

Отримане значення більше нуля, отже такі результати дозволяють стверджувати, що залежність (4.30) існує з імовірністю 0,95 [23]. Отже отримана залежність може бути використана для розрахунку гідравлічного опору в напірних каналах спіральних мембранних модулів. Отримане рівняння дійсне для діапазону значень критерію Рейнольдса [0,4, 60] та мають таку ж саму конструкцію і розміри сітки-сепаратора, як і мембранні модулі Dow Filmtac TW30-1812-50. Таке рівняння дозволяє достатньо точно визначати перепад тиску по довжині мембранних модулів без використання диференціальних рівнянь та числових методів, отже є корисним для використання в інженерній практиці.

Однак отримане критеріальне рівняння (4.30) використання даного рівняння для значень критерію Рейнольдса понад 60, а також для мембранних модулів в іншим типом сітки сепаратора може призвести до значних помилок в розрахунках.

Такі результати свідчать, що метод теорії подібності з обробкою результатів за методом найменших квадратів може бути використаний для знаходження надійних залежностей для розрахунку гідравлічного опору мембранного модуля.

4.1.2.7 Висновки

Гідравлічний опір є важливим параметром мембранних процесів, що визначає витрати енергії на їх реалізацію. Однак існуючі методи визначення гідравлічного опору недостатньо точні або вимагають складних методів розрахунку. В даній роботі було використано метод теорії подібності для отримання критеріального рівняння для розрахунку гідравлічного опору для випадку руху рідини в напірних каналах рулонованих мембранних модулів. Отримане критеріальне рівняння (4.30) з високим ступенем точності корелює експериментальні дані (вибірковий коефіцієнт кореляції становить 0,9614), а статичний аналіз підтверджує існування залежності з імовірністю 0,95. Така точність достатня для проведення інженерних розрахунків. Отримане критеріальне рівняння може бути використане при проектуванні мембранних установок, які працюють за режимів руху рідини, що відповідає діапазону зміни критерію Рейнольдса $[0,4, 60]$. Використання рівняння (4.30) за межами розглядуваного діапазону, а також для мембранних модулів з інакшими конструкціями сітки-сепаратора, може призвести до значних похибок, тому для таких випадків необхідно проводити аналогічні дослідження.

4.1.3 Дослідження опору шару концентраційної поляризації

Основною проблемою при використанні баромембранних процесів є явища концентраційної поляризації та утворення забруднень на поверхні мембрани. Вичерпний огляд цих явищ був проведений Ширазі та ін. [24]. Зокрема в цій роботі відзначається, що зменшення потоку обумовлюється рядом опорів перенесенню маси через мембрану, а саме: опором мембрани, опором шару концентраційної поляризації, опором шару забруднень та опором заблокованих пор. Однак опір заблокованих пор для баромембранних процесів не характерний, тому в інших

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

роботах, зокрема Люо та ін. [25] при дослідженні процесу нанофільтрації і Маседо та ін. [26] при аналізі ультрафільтрації, розглядалися лише перші три опори.

В роботах [24-26] наведені методи визначення опору мембрани та опору шару забруднень, крім того Сіутопулос та Карабелас [27] встановили залежності питомого шару осаду від робочих параметрів процесу ультрафільтрації, зокрема робочого тиску. Проте методи безпосереднього визначення опору шару концентраційної поляризації в джерелах літератури майже не описані.

В більшості, дослідження концентраційної поляризації носять теоретичний характер і спрямовані на розробку та перевірку адекватності математичних моделей цього явища. Наприклад, Геральдес та Афонсо [28] запропонували модель на основі розширеного рівняння Нернста-Планка, яка дозволяє передбачати параметри концентраційної поляризації (індекс концентраційної поляризації) для випадку нанофільтрації та зворотного осмосу розбавлених мультикомпонентних сольових розчинів. Сонг та Ліу [29] розвинули модель на основі загального сольового балансу з використанням напружень зсуву. Кавако Морау та ін. [30] для моделювання використовували методи обчислювальної гідродинаміки (CFD). Кім та Хок [31] провели порівняння декількох аналітичних та числових моделей для прогнозування концентраційної поляризації, та встановили їх достатню точність в межах зміни робочих параметрів, що відповідають реальним умовам проведення процесу зворотного осмосу. Однак в цих роботах опір шару концентраційної поляризації не розглядався.

Ширазі та ін. [24] відмічали, що для врахування опору концентраційної поляризації можна використовувати опосередковані методи, як це було зроблено в більш ранніх роботах [32–34], зокрема Сонг [34] відмічав, що вплив концентраційної поляризації можна врахувати зменшенням рушійної сили. Найбільш повно питання опору шару концентраційної поляризації вивчали Маседо та ін. [26]. Вони декларують, що при постійних значеннях концентрації розчиненої речовини, швидкості потоку сировини та температурі, опір шару концентраційної поляризації залежить від прикладеного тиску, зокрема робиться припущення щодо

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

лінійної залежності між цими величинами. Однак ця гіпотеза перевірялася лише для одного виду розчиненої речовини (молочної сироватки), а значення коефіцієнта пропорційності в запропонованому співвідношенні варіюється при різних робочих умовах більш ніж в три рази. Тому на разі можливість безпосередньо врахувати опір шару концентраційної поляризації при розрахунку мембранного обладнання досить складно і встановлення залежності опору шару концентраційної поляризації від робочих параметрів баромембранних процесів є важливою задачею.

Метою даної роботи є розробка методики визначення опору шару концентарційної поляризації для випадку процесу зворотного осмосу сольових розчинів в проточному режимі.

4.1.3.1 Матеріали

Досліди проводилися з використанням комерційно доступних зворотноосмотичних мембранних модулів Dow Filmtec TW30-1812-50 (виробництва США). В якості робочих розчинів використовувалася знесолена вода (пермеат зворотного осмосу з загальним солевмістом (TDS) 5-15 ppm (що відповідає концентрації NaCl 5-15 мг/дм³), а також розчини NaCl. Знесолена вода використовувалася при вимірюваннях опору мембрани, а сольові розчини при вимірюванні опору шару концентраційної поляризації. Розглядуваний тип модуля призначений для доочищення водопровідної води, тому для визначення опору шару концентраційної поляризації використовувалася розчини, що моделювали солевміст водопровідної води, а також розчини з подвійним і потрійним значенням солевмісту. Оскільки середнє значення солевмісту в водопровідній воді в Солом'янському районі міста Києва становить 200 ppm, в дослідях використовувалися розчина NaCl з концентарцями 200, 400 та 600 мг/дм³.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

4.1.3.2 Обґрунтування методики експериментальних досліджень

Потік речовини через мембрану згідно з [24-26] можна описати рівнянням, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

$$J = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu (R_m + R_{cp} + R_f)}, \quad (4.31)$$

де Δp – робочий тиск (рушійна сила), Па; $\Delta \pi$ – осмотичний тиск розділюваного розчину, Па; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості розділюваного розчину, $\text{Па} \cdot \text{с}$; R_m – опір мембрани, м^{-1} ; R_{cp} – опір шару концентраційної поляризації, м^{-1} ; R_f – опір забруднень.

В нових мембранних модулях забруднення відсутні, тому величина R_f буде дорівнювати нулю. Крім того, при використанні в якості тестового розчину знесоленої води через відсутність (чи нехтовно малу кількість) розчиненої речовини осмотичний тиск розчину $\Delta \pi$ прямуватиме до нуля, а явище концентраційної поляризації не виникатиме. Тому опір мембрани можна знайти із залежності [24]:

$$R_m = \frac{\Delta p}{\mu \cdot J}. \quad (4.32)$$

Враховуючи, що за звичайних для умов роботи розглядуваного мембранного модуля, а саме робочих тисків в межах 0,2–0,6 МПа, не характерне ущільнення структури мембрани, величина R_m не повинна залежати від тиску.

Для випадку розділення через нову мембрану сольового розчину, сумарний опір перенесенню речовини через мембрану буде сумою величин R_m та R_{cp} . Оскільки значення R_m відоме, опір шару концентраційної поляризації може бути виміряний:

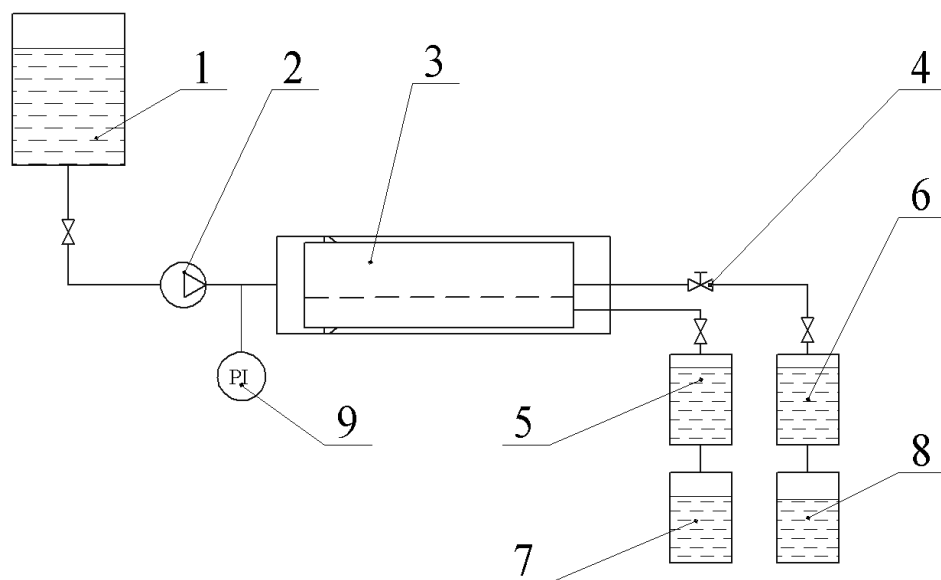
$$R_{cp} = \frac{\Delta p - \Delta \pi}{\mu \cdot J} - R_m. \quad (4.33)$$

Отже для розчинів з відомим значенням осмотичного тиску та коефіцієнта динамічної в'язкості опір шару концентраційної поляризації може бути визначений

експериментально. Величини $\Delta\pi$ та μ залежать від роду речовини (хімічного складу розчину), а також є функціями температури та тиску. Для монокомпонентних розчинів ці значення можуть бути знайдені в довідковій літературі [22, 35].

4.1.3.3 Опис експериментальної установки, основних вимірювань та обробки результатів.

Дане дослідження було проведене на існуючій експериментальній установці яка використовувалася в попередніх дослідженнях регенерації мембранних модулів [36]. Схема установки показана на рисунку 4.6.



1 – збірник розділюваного розчину, 2 – насос, 3 – мембранный апарат;
4 – регулювальний кран; 5 – мірна ємність пермеату; 6 – мірна ємність ретентату;
7 – збірник пермеату; 8 – збірник ретентату; 9 – манометр.

Рисунок 4.6 – Схема експериментальної установки

Розділюваний розчин зі збірника 1, насосом 2 під заданим тиском подавався в мембранный апарат 2 проточного типу, в якому встановлювався досліджуваний спіральний мембранный модуль Dow Filmtec TW30-812-50. В процесі мембранного розділення утворюються пермеат (знесолений розчин) та ретентат (концентрований розчин) які відповідно надходять до мірні ємностей 5 та 7 і далі

до збірників 7 та 8. Робочий тиск регулюється на лінії ретентату за допомогою гольчастого регулювального крану 4 і контролюється манометром 9. Витрата пермеату і ретентату проводилася об'ємним методом, згідно якого вимірювалися об'єм розчину, що одночасно набиралася в мірних ємностях 5 та 7 за визначений проміжок часу (120 с). Загальний солевміст в початковому розчині, пермеаті та ретентаті вимірювався за допомогою портативного TDS-метра TDS EZ-5. Температура середовищ вимірювалася за допомогою блоку хромель-копелевих термопар та вимірювального комплексу IndexTem.

Витрати розділюваного розчину визначалися з загальновідомих рівнянь матеріального балансу. За потоками:

$$L_f = L_p + L_r, \quad (4.34)$$

де L_f – витрата розділюваного розчину, м³/с; L_p – витрата пермеату, м³/с; L_r – витрата ретентату, м³/с/

За розчищеною речовиною:

$$L_f = \frac{x_p L_p + x_r L_r}{x_f}, \quad (4.35)$$

де x_f – концентарція розчинених речовин в початковому розчині, мг/дм³; x_p – концентарція розчинених речовин в пермеаті, мг/дм³; x_r – концентарція розчинених речовин в ретентаті, мг/дм³.

Для подальших розрахунків використовувалося осереднене значення з визначених за рівняннями (4.34) та (4.35). Якщо розбіжність між цими двома величинами перевищувала 5%, значення отримані в даному досліді відбраковувалися як помилкові.

Потік речовини через мембрану визначався зі співвідношення:

$$J = \frac{L_p}{F}, \quad (4.36)$$

де F – площа поверхні мембрани, м²; для досліджуваного мембранного модуля $F=0,46$ м².

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Для аналізу гідродинамічних умов в мембранному модулі використовувалася величина критерію Рейнольдса:

$$\text{Re}_{adj} = \frac{w_e \cdot d_e \cdot \rho}{\mu}. \quad (4.37)$$

Оскільки в мембранному модулі витрата змінюється по довжині через проходження частини розчину через мембрану, в даному дослідженні в якості визначальної швидкості обиралося середнє значення, розраховане за витратами розділюваного розчину та ретентату, м/с:

$$w_e = \frac{L_f + L_r}{2 \cdot S}, \quad (4.38)$$

де S – площа поперечного перерізу каналу мембрани, м^2 . Для розглядуваного модуля $S = 3,675 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

В якості визначального розміру приймався еквівалентний діаметр, який для спіральних мембранних модулів може бути представлений у вигляді:

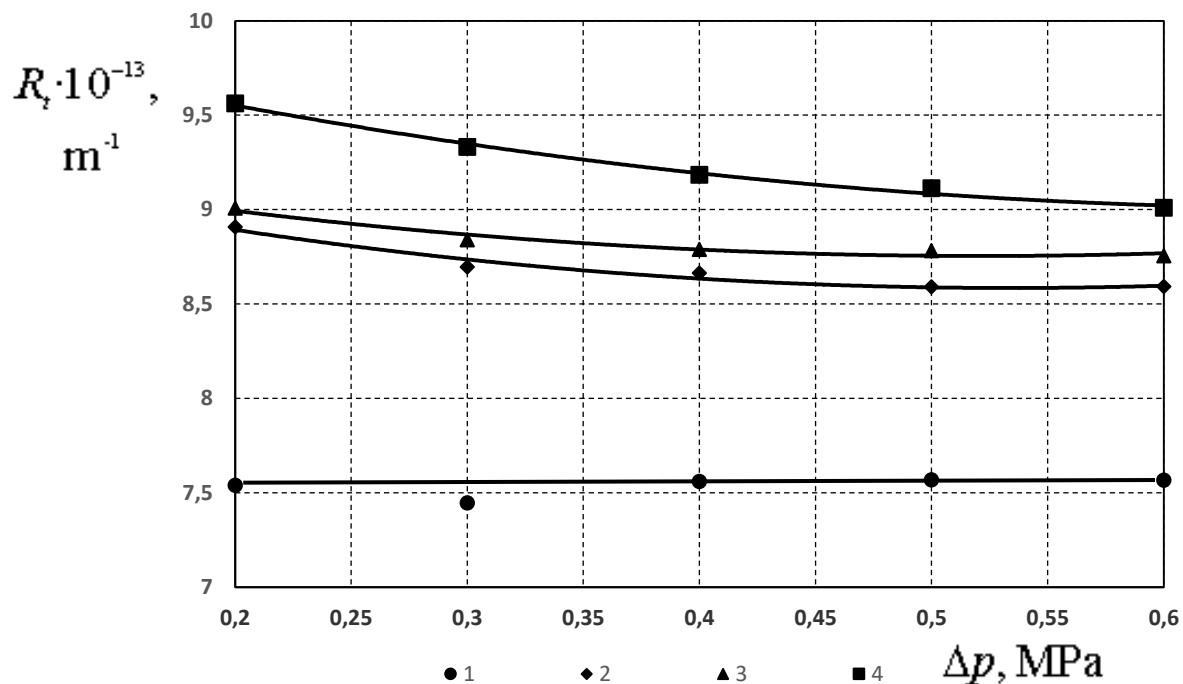
$$d_e = 2 \cdot \delta, \quad (4.39)$$

де δ – товщина сітки-сепаратора, м.

Обробка результатів здійснювалася за допомогою програм MathCad та Microsoft Excel.

4.1.3.4 Результати та обговорення

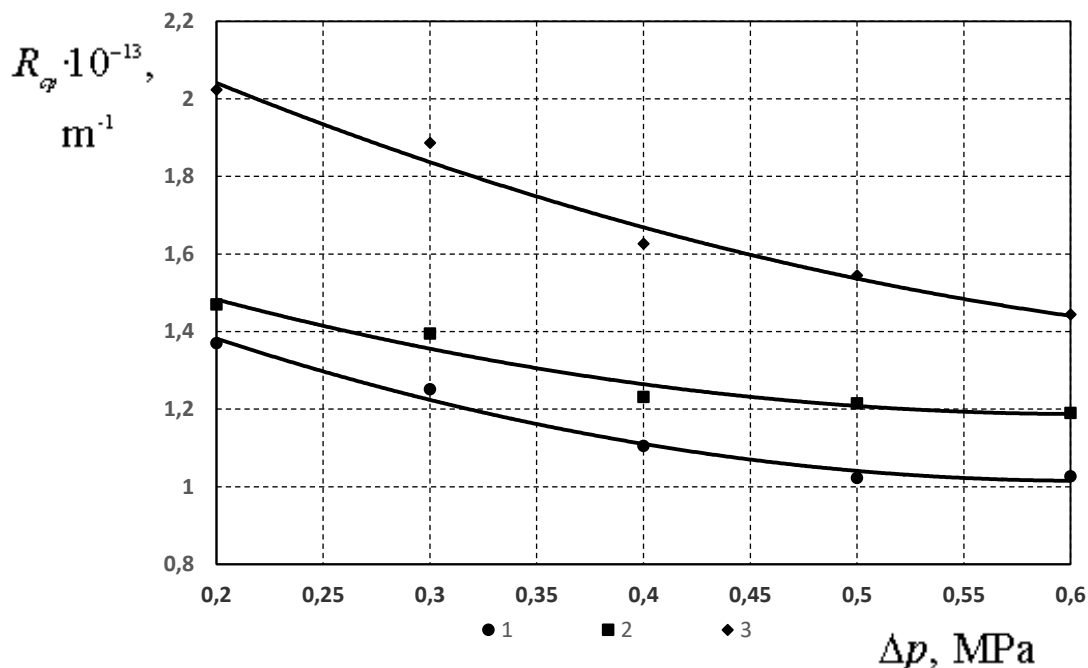
За результатами експериментів було визначено загальний опір перенесенню речовини через мембрану в діапазоні зміни робочого тиску $\Delta p = 0,2..0,5 \text{ МПа}$ для знесолоної води та розчинів NaCl з концентрацією 200, 400 та 600 мг/дм^3 (рисунок 4.7). Крок зміни тиску становив 0,1 МПа. У випадку знесолоної води відхилення значень опору не перевищує 2% від середнього значення, що не перевищує межу похибки вимірювань. Отже, результати свідчать, що опір мембрани не залежить від тиску і є постійним. Осереднене значення становить $R_m = 7,531 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-1}$, це значення використовувалося в подальших розрахунках.



1 – Знесолена вода; 2 – Розчин NaCl, 200 мг/дм³; 3 – Розчин NaCl, 400 мг/дм³; 4 – Розчин NaCl, 600 мг/дм³

Рисунок 4.7 – Залежність загального опору перенесення речовини через мембрану від тиску

При розділенні на розглядуваному мембранному модулі розчинів NaCl загальний опір перенесенню збільшується зі збільшенням концентрації розчину та зменшується зі зростанням робочого тиску. Оскільки в досліді використовувався новий модуль, а концентрація NaCl на два порядки менша за концентрацію насичення [35], опір осаду можна вважати відсутнім, отже збільшення сумарного опору обумовлене концентраційною поляризацією. Опір шару концентраційної поляризації, розрахований за рівнянням (4.33) показаний на рисунку 4.8.



1 – Розчин NaCl, 200 мг/дм³; 2 – Розчин NaCl, 400 мг/дм³;
3 – Розчин NaCl, 600 мг/дм³

Рисунок 4.8 – Залежність опору перенесення речовини через мембрану, обумовленого концентраційною поляризацією від тиску

Зростання опору шару концентраційної поляризації зі збільшенням концентрації є очікуваним і обумовлюється зростанням у відповідну кількість раз концентрації в шарі біля поверхні мембрани, що уповільнює дифузійне перенесення маси в напрямку мембрани і збільшує рушійну силу зворотного дифузійного потоку [24].

Відповідно до плівкової теорії концентраційної поляризації зростання концентрації в пограничному шарі описується рівнянням [24]:

$$\frac{c_m}{c_b} = \exp\left(\frac{J}{k}\right), \quad (4.40)$$

де c_m – концентрація розчиненої речовини біля поверхні мембрани; c_b – концентрація розчиненої речовини біля поверхні мембрани; k – коефіцієнт масовіддачі.

Відношення c_m/c_b відоме, як ступінь концентраційної поляризації [24].

Варто відзначити, що отримані результати, не дозволяють підтвердити припущення Маседо та ін. [26] щодо лінійної залежності опору шару концентраційної поляризації від тиску. На рисунках 4.7 та рис 4.8 спостерігається залежностей $R_{cp}=f(\Delta p)$ від прямолінійності, при чому найбільш чітко відхилення помітно при концентрації NaCl у розділюваному розчині 100 мг/дм³. Нелінійність цієї залежності узгоджується з плівковою теорією, оскільки рівняння (4.40) описує зміну концентрації в пограничному шарі експоненційною залежністю, крім того, значення коефіцієнта масовіддачі залежить від швидкості (критерію Рейнольдса) нелінійно (як правило залежність степенева [24]).

Розроблену методику можна використовувати в подальших дослідженнях для встановлення функціональної залежності $R_{cp}=f(Re)$, яка була б корисною для оптимізації баромембранних процесів.

Враховуючи узгодженість отриманих за розробленою методикою результатів з відомими положеннями плівкової теорії концентраційної поляризації, можна вважати, що запропонована методика експериментальних досліджень може бути використана для проведення серійних дослідів і встановлення залежності опору шару концентраційної поляризації від робочих параметрів баромембранних процесів.

4.1.3.5 Висновки

Розроблена методика експериментального визначення опору шару концентраційної поляризації при проведенні баромембранних процесів в проточному режимі. Проведені пробні дослідів з використанням в якості тестового середовища розчинів NaCl з концентрацією в межах 200-600 мг/дм³ в діапазоні зміни робочого тиску 0,2-0,6 МПа. Якісні результати досліджень узгоджуються з плівковою теорією концентраційної поляризації. Встановлено, що опір шару концентраційної поляризації нелінійно зменшується при збільшенні робочого тиску. Запропонована методика може бути використана для проведення серійних

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

дослідів для встановлення кількісних співвідношень між опором шару концентраційної поляризації та робочими параметрами баромембранних процесів.

4.2.1 Визначення основних геометричних розмірів апарату зворотного осмосу

Метою розрахунку є визначення об'єму апарату, площі теплообміну, основних геометричних та конструктивних параметрів апарата.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.9.

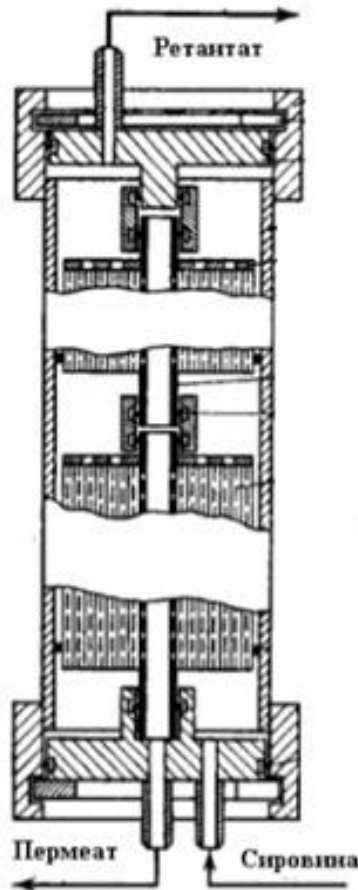


Рисунок 4.9 – Схема розрахунку апарату зворотного осмосу

Вихідні дані:

найменування розчину, що розділяється вода;

масова продуктивність за розчином, що розділяється L_{1f} , кг/с 5;

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

початкова концентрація розчину, що розділяється x_{1f} , % мас	1,2;
кінцева концентрація розчину, що розділяється x_{1r} , % мас	3,2224;
перепад тиску на мембрані Δp , МПа	5;
температура розчину t , °C	25;
допустимі втрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від кількості, що наявна в початковому розчині $[g_{cp}]$, %	10.
Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [3, ст. 37-52].	

Визначення кінцевої концентрації

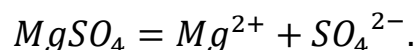
Кінцева концентрація вибирається з техніко-економічних міркувань. При підвищенні концентрації розчиненої речовини понад 0,2-0,4 моль/(л розчинника) показники зворотного осмосу різко погіршуються. Тому кінцеву концентрацію x_{1r} , вибирають такою, що відповідає 0,3 моль/(л розчинника) для заданої речовини за даними [3, додаток Б].

Ступінь концентрування:

$$K = \frac{x_{1r}}{x_{1f}} = \frac{3,2224}{1,2} = 2,685.$$

Вибір мембрани

Для визначення селективності запишемо рівняння електролітичної дисоціації $MgSO_4$:



Середнє геометричне значення теплоти гідратації, кДж/моль:

$$\Delta H_{сг} = \sqrt{\Delta H_{Mg^{2+}} \cdot \Delta H_{SO_4^{2-}}} = \sqrt{1955 + 1110} = 1,473 \cdot 10^3,$$

де значення теплоти гідратації іонів [3, додаток А]:

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta H_{Mg^{2+}} = 1955 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}},$$

$$\Delta H_{SO_4^{2-}} = 1110 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

Теплота гідратації Mg^{2+} , більша за теплоту гідратацію SO_4^{2-} , тому $Z_m = 1$.

За таблицею 4.3 вибираються значення для найбільш продуктивної мембрани МГА-80.

При виборі мембрани виходять з того, що вона має забезпечити максимально можливу продуктивність при заданому ступені розділення. Тому спочатку вибирається найбільш продуктивна мембрана за таблицею 4.3 і перевіряється придатність даної мембрани за величиною втрат солі.

Таблиця 4.3 Характеристики деяких мембран для зворотного осмосу [3]

Марка мембрани	Питома продуктивність за водою G_0 , кг/(м ² ·с)	Константи в рівнянні	
		a	b
МГА-100	0,0014	6,70	3,215
МГА-95	0,0023	3,47	1,844
МГА-90	0,003	2,67	1,420
МГА-80	0,0049	1,00	0,625

Істина селективність мембрани за заданою сіллю:

$$\phi_i = 1 - 10^{a-b \cdot \lg\left(\frac{\Delta H_{cr}}{Z_m}\right)} = 1 - 10^{1-0,625 \cdot \lg\left(\frac{1,473 \cdot 10^3}{2}\right)} = 0,839.$$

В першому наближенні вважаємо спостережувану селективність рівною істинній, розраховуємо середню концентрацію солі в пермеаті, мас. частка:

$$x_2 = x_{1f} \cdot \frac{1 - K^{\frac{\phi_i - 1}{\phi_i}}}{1 - K^{-\frac{1}{\phi_i}}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1 - 2,685^{\frac{0,839 - 1}{0,839}}}{1 - 2,685^{-\frac{1}{0,839}}} = 3,003 \cdot 10^{-3}.$$

Витрати пермеату, кг/с:

$$L_p = L_f \cdot \left(1 - K^{-\frac{1}{\phi_i}}\right) = 5 \cdot \left(1 - 2,685^{-\frac{1}{0,839}}\right) = 3,46.$$

Витрата солі з сировиною, кг/с:

$$G_{c1f} = L_f \cdot x_{1f} = 5 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} = 0,06.$$

Витрата солі з пермеатом, кг/с:

$$G_{cp} = L_p \cdot x_2 = 3,46 \cdot 3,003 \cdot 10^{-3} = 0,01.$$

Витрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісті у початковому розчині, %:

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{0,01}{0,06} \cdot 100\% = 17,318.$$

Умова задовільної селективності:

$$g_{cp} \leq [g_{cp}],$$
$$17,318 > 10.$$

Умова не виконується, з таблиці 3.1 вибираємо більш селективну мембрану і виконуємо перерахунок.

Обираємо мембрану МГА-90.

Істина селективність мембрани за заданою сіллю:

$$\phi_i = 1 - 10^{a-b \cdot \lg\left(\frac{\Delta H_{cr}}{Z_m}\right)} = 1 - 10^{2,67-1,420 \cdot \lg\left(\frac{1,473 \cdot 10^3}{2}\right)} = 0,96.$$

В першому наближенні вважаємо спостережувану селективність рівною істинній, розраховуємо середню концентрацію солі в пермеаті, мас. частка:

$$x_2 = x_{1f} \cdot \frac{1 - K^{\frac{\phi_i - 1}{\phi_i}}}{1 - K^{-\frac{1}{\phi_i}}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1 - 2,685^{\frac{0,96-1}{0,96}}}{1 - 2,685^{-\frac{1}{0,96}}} = 7,47 \cdot 10^{-4}.$$

Витрати пермеату, кг/с:

$$L_p = L_f \cdot \left(1 - K^{-\frac{1}{\phi_i}}\right) = 5 \cdot \left(1 - 2,685^{-\frac{1}{0,96}}\right) = 3,213.$$

Витрата солі з сировиною, кг/с:

$$G_{c1f} = L_f \cdot x_{1f} = 5 \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} = 0,06.$$

Витрата солі з пермеатом, кг/с:

$$G_{cp} = L_p \cdot x_2 = 3,213 \cdot 7,47 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-3}.$$

					ЛН71мн.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Витрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісті у початковому розчині, %:

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{2,4 \cdot 10^{-3}}{0,06} \cdot 100\% = 3,999.$$

Умова задовільної селективності:

$$g_{cp} \leq [g_{cp}],$$
$$3,999 < 10.$$

Умова виконується.

Наближений розрахунок поверхні мембрани

За концентраціями в розділюваному розчині та ретантаті за даними, наведеними в [3, додаток Б] вибираються значення осмотичних тисків, МПа:

$$\pi_{1f} = 0,3026 \text{ МПа}, \pi_{1r} = 0,813.$$

Нехтуючи в першому наближенні впливом концентраційної поляризації, розраховується проникненість мембрани на вході та виході з апарату, кг/(м²·с):

$$G_f = G_0 \cdot \left(\frac{\pi_{1f}}{\Delta p} \right) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{0,3026}{5} \right) = 2,8184 \cdot 10^{-3},$$

$$G_r = G_0 \cdot \left(\frac{\pi_{1r}}{\Delta p} \right) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{0,813}{5} \right) = 2,5124 \cdot 10^{-3}.$$

Середнє значення проникненості, кг/(м²·с):

$$G = \frac{G_f + G_r}{2} = \frac{2,8184 \cdot 10^{-3} + 2,5124 \cdot 10^{-3}}{2} = 2,665 \cdot 10^{-3}.$$

Наближене значення площі поверхні мембрани, м²:

$$F = \frac{L_p}{G} = \frac{3,213}{2,665 \cdot 10^{-3}} = 1,205 \cdot 10^{-3}.$$

Витрата ретантату, кг/с:

$$L_r = L_f - L_p = 5 - 3,213 = 1,787.$$

Вибір апарата та його основних параметрів

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

При виборі розмірів апарата змінними можуть бути такі величини [3]:

- робоча висота модуля l_m , м 0,8;
- кількість сумісно навитих елементів у модулі n_e 8;
- кількість модулів у корпусі апарата n_m 3;
- товщина сітки сепаратора δ_c , мм 0,5;
- товщина дренажного матеріалу δ_d , мм 0,2;
- товщина підкладного матеріалу δ_1 , мм 0,2;
- товщина мембрани δ_2 , мм 0,1;
- довжина мембранного пакету l_p , м 1,8.

Товщина мембранного пакету, м:

$$\delta_p = \delta_d + 2 \cdot \delta_1 + 2 \cdot \delta_2 = (0,2 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,1) \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-4}.$$

Площа поверхні мембрани в одному елементі, м²:

$$F_e = 2 \cdot l_p \cdot l_m = 2 \cdot 1,8 \cdot 0,8 = 2,88.$$

Площа робочої поверхні мембран в одному модулі, м²:

$$F_m = n_e \cdot F_e = 8 \cdot 2,88 = 23,04.$$

Площа робочої поверхні мембран в одному апараті, м²:

$$F_a = n_m \cdot F_m = 3 \cdot 23,04 = 69,12.$$

Площа поперечного перерізу апарата, по якому проходить розчин, що розділяється, м²:

$$S_1 = n_e \cdot l_p \cdot \delta_c = 8 \cdot 1,8 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 7,2 \cdot 10^{-3}.$$

Площа поперечного перерізу апарата, зайнята пакетами мембран, м²:

$$S_2 = n_e \cdot l_p \cdot \delta_p = 8 \cdot 1,8 \cdot 8 \cdot 10^{-4} = 0,012.$$

Площа поперечного перерізу апарата з урахуванням запасу на конструктивні елементи, м²:

$$S_A = 1,1 \cdot (S_1 + S_2) = 1,1 \cdot (7,2 \cdot 10^{-3} + 0,012) = 0,021.$$

Внутрішній діаметр апарата, м:

$$d_a = \sqrt{\frac{4 \cdot S_A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,021}{\pi}} = 0,162.$$

Приймаємо $d_a = 0,2$ м.

Загальна кількість апаратів у мембранній установці:

$$n = \frac{F}{F_a} = \frac{1,205 \cdot 10^3}{69,12} = 17,437.$$

Приймаємо $n = 18$.

Секціювання апаратів в установці

Визначається витрата пермеату в одному апараті, кг/с:

$$L_{pa} = G \cdot F_a = 2,665 \cdot 10^3 \cdot 69,12 = 0,184.$$

Визначається кількість апаратів в секціях:

$$n_1 = \frac{L_f \cdot \left(1 - \frac{1}{q}\right)}{L_{pa}} = \frac{5 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,2}\right)}{0,184} = 4,523; \text{Приймаємо } n_1 = 5.$$

$$n_2 = \frac{n_1}{q^{2-1}} = \frac{4,523}{1,2^1} = 3,769; \text{Приймаємо } n_2 = 4.$$

$$n_3 = \frac{n_1}{q^{3-1}} = \frac{4,523}{1,2^2} = 3,141; \text{Приймаємо } n_3 = 3.$$

$$n_4 = \frac{n_1}{q^{4-1}} = \frac{4,523}{1,2^3} = 2,618; \text{Приймаємо } n_4 = 3.$$

$$n_5 = \frac{n_1}{q^{5-1}} = \frac{4,523}{1,2^4} = 2,181; \text{Приймаємо } n_5 = 3.$$

Де $q = 1,2$ - припустиме зниження витрат за довжиною апарата [3].

Сума апаратів в секціях:

$$\sum n_i = 18.$$

Отже, якщо використати шість секцій в каскаді, необхідно вилучити 1 апарат, тоді як при використанні п'яти секцій – необхідно додати 4. Тому приймаємо 6

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

секцій. Вилучимо з другої 1 апарат. Тоді розподіл апаратів за секціями наведемо в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Розподіл апаратів за секціями

№	1	2	3	4	5	$\sum n_i$
n	5	4	3	3	3	18

Розрахунок спостережуваної селективності

Для заданої солі за концентрації в сировині та ретантаті знаходять значення густини, коефіцієнту кінематичної в'язкості та коефіцієнта дифузії [3, додаток Б]:

$$\rho_{1f} = 1,00921 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{1r} = 1032,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\nu_{1f} = 9,338 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

$$\nu_{1r} = 1,0107 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

$$D_{1f} = 6,02 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

$$D_{1r} = 0,586 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Визначається критерій Шмідта на вході і на виході в установку:

$$Sd_{1f} = \frac{\nu_{1f}}{D_{1f}} = \frac{9,338 \cdot 10^{-7}}{6,02 \cdot 10^{-10}} = 1,551 \cdot 10^3;$$

$$Sd_{1r} = \frac{\nu_{1r}}{D_{1r}} = \frac{1,0107 \cdot 10^{-6}}{0,586 \cdot 10^{-9}} = 1,725 \cdot 10^3.$$

Еквівалентний діаметр, м:

$$d_e = 2 \cdot \delta_c = (2 \cdot 0,5) \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3}.$$

Швидкість руху розчину в каналах модуля, м/с:

в першій секції:

$$w_{1f} = \frac{L_f}{\rho_{1f} \cdot S_1 \cdot n_1} = \frac{5}{1,00921 \cdot 10^3 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3} \cdot 5} = 0,138$$

в останній секції:

$$w_{1r} = \frac{L_r}{\rho_{1r} \cdot S_2 \cdot n_5} = \frac{1,787}{1032,5 \cdot 0,012 \cdot 3} = 0,05.$$

Критерій Рейнольдса:

в першій секції:

$$Re_{1f} = \frac{w_{1f} \cdot d_e}{\nu_{1f}} = \frac{0,138 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{9,338 \cdot 10^{-7}} = 147,373.$$

в останній секції:

$$Re_{1r} = \frac{w_{1r} \cdot d_e}{\nu_{1r}} = \frac{0,05 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{1,011 \cdot 10^{-6}} = 49,563.$$

Швидкість руху розчину в напрямку мембрани, м/с:

в першій секції:

$$U_{1f} = \frac{G_f}{\rho_{1f}} = \frac{2,818 \cdot 10^{-3}}{1,00921 \cdot 10^3} = 2,793 \cdot 10^{-6}.$$

в останній секції:

$$U_{1r} = \frac{G_r}{\rho_{1r}} = \frac{2,512 \cdot 10^{-3}}{1032,5} = 2,433 \cdot 10^{-6}.$$

Критерій Пекле:

в першій секції:

$$Pe_{1f} = \frac{U_{1f} \cdot d_e}{D_{1f}} = \frac{2,793 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{-10}} = 4,639.$$

в останній секції:

$$Pe_{1r} = \frac{U_{1r} \cdot d_e}{D_{1r}} = \frac{2,433 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,586 \cdot 10^{-9}} = 4,152.$$

Критерій Шервуда визначається для першої і останньої секції за критеріальними рівняннями.

Якщо виконується умова:

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$100 < Re \cdot Sd \cdot \frac{d_e}{l_p} < 5000;$$

$$Re_{1f} \cdot Sd_{1f} \cdot \frac{d_e}{l_p} = 127,004;$$

$$100 < 127,00 < 5000;$$

$$Re_{1r} \cdot Sd_{1r} \cdot \frac{d_e}{l_p} = 47,491;$$

$$47,491 < 100.$$

Умова в першій секції виконується, а в останній не виконується.

Визначаємо критерії Шервуда в першій секції:

$$Sh_{1f} = 1,67 \cdot Re_{1f}^{0,31} \cdot Sd_{1f}^{0,33} \cdot \left(\frac{d_e}{l_p}\right)^{0,3} = 9,36.$$

Для останньої секції розраховуємо безрозмірний комплекс:

$$\xi_{1r} = \frac{4 \cdot Pe_{1r}^2 \cdot U_{1r} \cdot l_p}{3 \cdot w_r \cdot d_e} = \frac{4 \cdot 4,152^2 \cdot 2,433 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8}{3 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 2,01.$$

В такому разі критерій Шервуда розраховуємо за рівнянням:

$$Sh_{1r} = \frac{4 \cdot Pe_{1r}}{\ln(\xi_{1r} + 6 + 5 \cdot \exp(-\sqrt{\frac{\xi_{1r}}{3}}))} = 7,147.$$

Коефіцієнт масовіддачі визначається за формулою, кг/(м²·с):

в першій секції:

$$\beta_{1f} = \frac{Sh_{1f} \cdot D_{1f}}{d_e} = \frac{9,36 \cdot 6,02 \cdot 10^{-10}}{1 \cdot 10^{-3}} = 5,635 \cdot 10^{-6}.$$

в останній секції:

$$\beta_{1r} = \frac{Sh_{1r} \cdot D_{1r}}{d_e} = \frac{15,738 \cdot 0,586 \cdot 10^{-9}}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,303 \cdot 10^{-6}.$$

Розраховуємо комплекс:

в першій секції:

$$\chi_{1f} = \frac{U_{1f}}{2,3 \cdot \beta_{1f}} + \log\left(\frac{1 - \phi_i}{\phi_i}\right) = -1,168.$$

в останній секції:

					ЛН71мл.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$$\chi_{1r} = \frac{U_{1r}}{2,3 \cdot \beta_{1r}} + \log \left(\frac{1 - \phi_i}{\phi_i} \right) = -1,138.$$

Спостережувана селективність:

в першій секції:

$$\phi_{1f} = \frac{1}{10^{\chi_{1f}} + 1} = \frac{1}{10^{-1,256} + 1} = 0,936.$$

в останній секції:

$$\phi_{1r} = \frac{1}{10^{\chi_{1r}} + 1} = \frac{1}{10^{-1,252} + 1} = 0,932.$$

Середнє значення спостережуваної селективності:

$$\phi = \frac{\phi_{1f} + \phi_{1r}}{2} = \frac{0,947 + 0,947}{2} = 0,934.$$

Концентрація солі у пермеату, мас. частка:

$$x_2 = x_{1f} \cdot \frac{1 - K^{\frac{\phi-1}{\phi}}}{1 - K^{-\frac{1}{\phi}}} = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1 - 2,685^{\frac{0,934-1}{0,934}}}{1 - 2,685^{-\frac{1}{0,934}}} = 1,234 \cdot 10^{-3}.$$

Витрата пермеату, кг/с:

$$L_p = L_f \cdot \left(1 - K^{-\frac{1}{\phi}} \right) = 5 \cdot \left(1 - 2,685^{-\frac{1}{0,934}} \right) = 3,263.$$

Витрата солі з сировиною, кг/с:

$$G_{cp} = L_p \cdot x_2 = 3,263 \cdot 1,234 \cdot 10^{-3} = 4,026 \cdot 10^{-3}.$$

Витрати солі з пермеатом, виражені у відсотках від її вмісту у початковому розчині, %:

$$g_{cp} = \frac{G_{cp}}{G_{c1f}} \cdot 100\% = \frac{4,026 \cdot 10^{-3}}{0,06} \cdot 100\% = 6,71.$$

Умова задовільної селективності:

$$g_{cp} \leq [g_{cp}],$$

$$6,71 < 10.$$

Умова виконується.

Уточнений розрахунок поверхні мембрани

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Концентрація солі в пермеаті, мас. %:

в першій секції:

$$x_{2f} = (1 - \phi) \cdot x_{1f} = (1 - 0,934) \cdot 0,012 = 7,884 \cdot 10^{-4}.$$

в останній секції:

$$x_{2r} = (1 - \phi) \cdot x_{1r} = (1 - 0,934) \cdot 0,032 = 2,117 \cdot 10^{-3}.$$

Концентрація солі біля поверхні мембрани з боку розчину, що розділяється:
в першій секції, мас. %:

$$x_{3f} = \frac{x_{2f}}{1 - \phi} = \frac{7,884 \cdot 10^{-4}}{1 - 0,934} = 4,884 \cdot 10^{-3}.$$

в останній секції:

$$x_{3r} = \frac{x_{2r}}{1 - \phi} = \frac{2,117 \cdot 10^{-3}}{1 - 0,934} = 0,013.$$

Для концентрацій, розраховані за формулами визначаються осмотичні тиски [3, додаток Б], МПа:

$$\pi_{2f} = 1,9882 \cdot 10^{-4};$$

$$\pi_{2r} = 5,339 \cdot 10^{-4};$$

$$\pi_{3f} = 1,2316 \cdot 10^{-3};$$

$$\pi_{3r} = 3,307 \cdot 10^{-3}.$$

Проникненість мембрани, кг/(м²·с)::

в першій секції:

$$G_f = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\pi_{3f} - \pi_{2f}}{\Delta p}\right) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{1,2316 \cdot 10^{-3} - 1,9882 \cdot 10^{-4}}{5}\right) = 2,999 \cdot 10^{-3}.$$

в останній секції:

$$G_r = G_0 \cdot \left(1 - \frac{\pi_{3r} - \pi_{2r}}{\Delta p}\right) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{3,307 \cdot 10^{-3} - 5,339 \cdot 10^{-4}}{5}\right) = 2,998 \cdot 10^{-3}.$$

Константи системи:

в першій секції:

$$C_f = \frac{G_0 - G_f}{x_{1f}} = \frac{3 \cdot 10^{-3} - 2,999 \cdot 10^{-3}}{0,012} = 0,015.$$

в останній секції:

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_r = \frac{G_0 - G_r}{x_{1r}} = \frac{3 \cdot 10^{-3} - 2,998 \cdot 10^{-3}}{0,032} = 0,015.$$

Середня константа системи:

$$C = \frac{G_f - G_r}{2} = \frac{0,015 - 0,015}{2} = 0,015.$$

Площа поверхні мембрани обчислюється за формулою, м²:

$$F_p = \frac{L_f \cdot x_{1f}}{G_0} \cdot \left[-\ln \frac{(G_0 - C \cdot x_{1r}) \cdot x_{1f}}{(G_0 - C \cdot x_{1f}) \cdot x_{1r}} + \frac{1}{x_{1f}} - \frac{1}{x_{1r}} \right] =$$

$$= \frac{5,1,2 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot \left[-\ln \frac{(3 \cdot 10^{-3} - 0,015 \cdot 3,222 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{(3 \cdot 10^{-3} - 0,015 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}) \cdot 3,222 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-3}} - \frac{1}{3,222 \cdot 10^{-3}} \right] = 1,068 \cdot 10^3.$$

Якщо уточнене значення поверхні відрізняється від наближеного більш ніж на 20%, необхідно повторити розрахунки, починаючи з визначення кількості апаратів за формулою з використанням значення площі поверхні мембран, знайденої за формулою.

$$F_{per} = \frac{|F_p \cdot F|}{F} \cdot 100\% = \frac{|1,068 \cdot 10^3 \cdot 1,205 \cdot 10^3|}{1,205 \cdot 10^3} \cdot 100\% = 11,382\% < 20\%.$$

Умова виконується.

Висновок: за результатами розрахунку визначено тип необхідної мембрани, площу поверхні мембран, встановлено необхідну кількість мембран, що становить 18. Обчислено габаритні розміри мембранного модуля.

4.2.2 Розрахунок гідравлічного опору

Метою розрахунку є визначення абсолютного тиску та підбору насосу.

Розрахункова схема гідравлічного розрахунку наведена на рисунку 4.10.

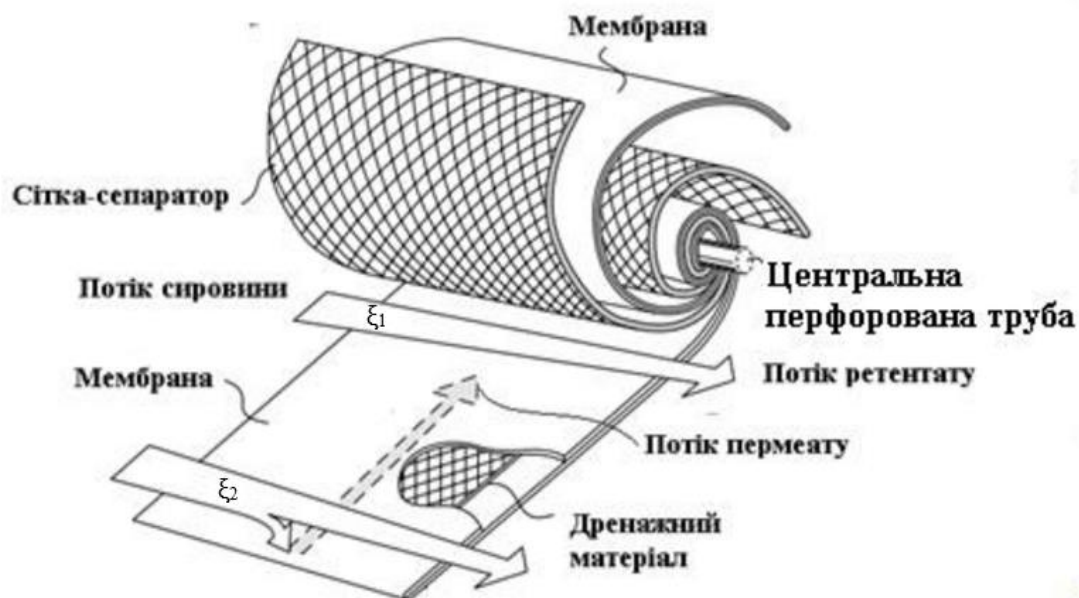


Рисунок 4.10 – Схема гідравлічного розрахунку апарату зворотного осмосу
Розрахунок здійснюємо за методикою, викладеною в [37].

Тиск Δp_p , що розвивається насосом, витрачається на створення перепаду тисків Δp , подолання гідравлічного опору потоку розчину, що розділяється в напірному каналі апаратів Δp_1 та фільтрату у дренажних каналах апаратів Δp_2 , а також компенсацію втрат на тертя у трубопроводах та подолання місцевих опорів (приймаються $0,1 \cdot \Delta p_1$), Па:

$$\Delta p_p = \Delta p + 1,1 \cdot \Delta p_1 + \Delta p_2.$$

Оскільки Δp_1 при розрахунку за формулою з [37] дає занижені значення. Тому для уточнення були проведені дослідження які описані у розділі 4.1.

Розрахунок гідравлічного опору проводим згідно отриманого рівняння в розділі 4.1.

Гідравлічний опір потоку початкового розчину та пермеату становить:

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \cdot w^2}$$

$$Re = \frac{147,373 + 49,563}{2} = 98,468.$$

$$Eu = 588 \cdot Re^{-1.476} \cdot \left(\frac{L}{d_e}\right) = 588 \cdot 98,468^{-1.476} \cdot \left(\frac{1,8}{1 \cdot 10^{-3}}\right) = 1,209 \cdot 10^3.$$

$$\Delta p_1 = Eu \cdot \rho \cdot w^2 = 1,209 \cdot 10^3 \cdot 1,021 \cdot 10^3 \cdot 0,187^2 = 4,317 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

$$\Delta p_2 = \xi_2 \cdot \frac{48 \cdot v_2 \cdot l_p^2 (G_f \cdot G_r)}{d_e^2} = 150 \cdot \frac{48 \cdot 9,335 \cdot 10^{-7} \cdot 0,4^2 \cdot (2,818 \cdot 10^{-3} - 2,512 \cdot 10^{-3})}{1^3} = 3,291 \cdot 10^{-7} \text{ МПа.}$$

де $\xi_2 = 150$ коефіцієнт опору дренажного матеріалу [37].

При визначенні Δp_1 загальна довжина каналу дорівнює добутку висоти модуля, кількості модулів в апараті та числа секцій установки, м:

$$l = l_m \cdot n_m \cdot m = 0,8 \cdot 5 \cdot 5 = 20.$$

Еквівалентний діаметр каналу становить $2\delta_c$. Швидкість руху розчину, його густина та в'язкість визначаються як середні в першій та останній секціях і, відповідно, становлять:

$$w_1 = \frac{(w_{1f} + w_{1r})}{2} = \frac{0,254 + 0,12}{2} = 0,187, \text{ м/с.}$$

$$\rho_1 = \frac{(\rho_{1f} + \rho_{1r})}{2} = \frac{1,009 \cdot 10^3 + 1,032 \cdot 10^3}{2} = 1,021 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$v_1 = \frac{(v_{1f} + v_{1r})}{2} = \frac{9,338 \cdot 10^{-7} + 1,011 \cdot 10^{-6}}{2} = 9,723 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}.$$

Тиск насоса, МПа:

$$\Delta p_p = \Delta p + 1,1 \cdot \Delta p_1 + \Delta p_2 = 5 + 1,1 \cdot 4,317 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6} + 3,291 \cdot 10^{-7} = 5,051.$$

Напір насоса визначається при густині початкового розчину ρ_{1f} і становить, Па:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho_{1f} \cdot g} = \frac{5,051 \cdot 10^6}{1,021 \cdot 10^3 \cdot 9,81} = 504,3.$$

Висновок: в результаті проведення гідравлічного розрахунку встановлено гідравлічний опір, абсолютного тиск та визначення параметрів насоса.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

4.2.3 Розрахунок на міцність одношарової циліндричної обичайки

Метою розрахунку є визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію та перевірка її на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.11.

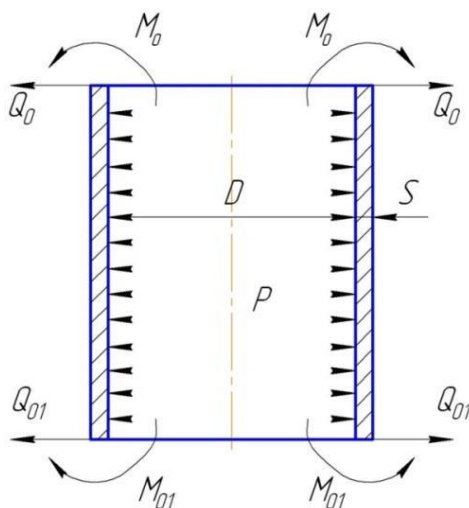


Рисунок 4.11 – Схема розрахунку на міцність одношарової циліндричної обичайки

Вихідні дані:

Зварний шов – стиковий, виконується ручну з одного боку. Вся довжина контролюється.

Внутрішній діаметр обичайки D , м 0,2;

Розрахунковий внутрішній тиск p , МПа 5;

Розрахунок температура t , °C 20.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [38].

Коефіцієнт міцності зварного шва визначаємо залежно від виду зварного шва та довжини швів контролюється.

$$\varphi = 0,9$$

Допустиме напруження матеріалу обичайки при розрахунковій температурі

Для сталі марки 12X18H10T за розрахункової температури $t=20^{\circ}\text{C}$ допустиме напруження $[\sigma] = \min\left(\frac{\sigma_T}{n_T}; \frac{\sigma_B}{n_B}\right) = \min\left(\frac{196}{1,5}; \frac{490}{2,4}\right) = 130,667 \text{ МПа}$.

Розрахунковий коефіцієнт товстостінності:

$$\beta_R = e^{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}} \quad (4.11)$$

Товщина стінки обичайки у першому наближенні, м:

$$S^1 = 0,5 \cdot D \cdot (\beta_R - 1) + C_1 + C_0 \quad (4.12)$$

де C_0 - додаток на округлення до стандартної товщини листа,

C_1 - додаток для компенсації корозії та ерозії.

Відношення суми додатків до номінальної товщини листа:

$$\frac{C_2 + C_3}{S'} \quad (4.13)$$

де C_2 - додаток що передбачає компенсацію мінусового допуску,

Сума додатків розрахункової товщини C , м:

$$C = \begin{cases} C_1, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S'} \leq 0,05, \\ C_1 + C_2 + C_3, \text{ якщо } \frac{C_2 + C_3}{S'} > 0,05. \end{cases} \quad (4.14)$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки S , м:

$$S = 0,5 \cdot D \cdot (\beta_R - 1) + C + C_0 \quad (4.15)$$

Коефіцієнт товстостінності:

$$\beta = \frac{D + 2 \cdot (S - C)}{D} \quad (4.16)$$

Допустимий тиск, МПа:

$$[p] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \ln \beta \quad (4.17)$$

Перевірка умови застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,4 \quad (4.18)$$

Висновок: умова застосування розрахункових формул виконується.

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки $S=0,008 \text{ м}$.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

4.2.4 Розрахунок затвора з плоскою металевою прокладкою

Метою розрахунку є розрахунок затвора, та визначення параметрів прокладки

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.12.

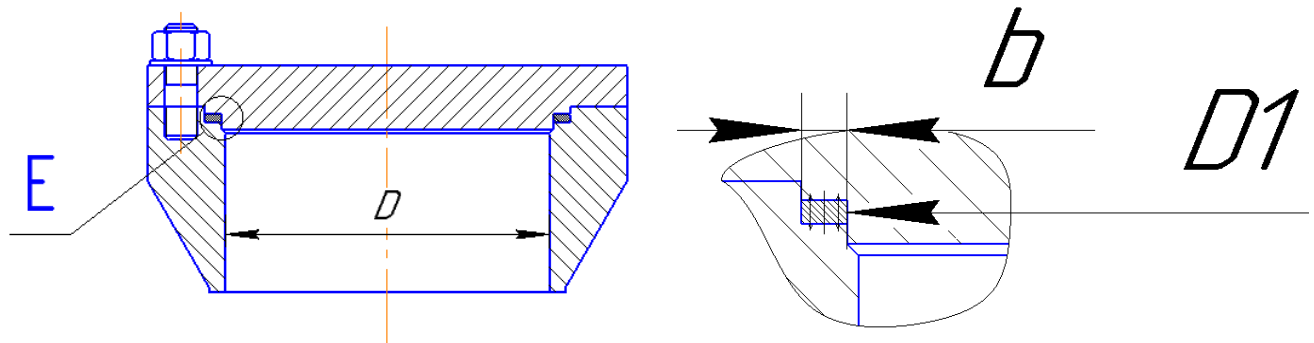


Рисунок 4.12 – Схема розрахунку затвора з плоскою металевою прокладкою

Вихідні дані:

Корпус і кришка ковані

Матеріал корпусу і кришки-12X18H10T.

Матеріал прокладки алюміній.

Внутрішній діаметр корпусу D , м 0,2;

Внутрішній діаметр ущільнення D_1 , м 0,21;

Розрахунковий внутрішній тиск p , МПа 5.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [38].

Мінімальне значення границі плинності матеріалу поверхні, що ущільнюється, при розрахунковій температурі, МПа:

$$\sigma_T = 196.$$

Допустиме контактне напруження на ущільнювальних поверхнях при розрахунковій температурі, МПа:

$$[\sigma]_K = 0,36 \cdot \sigma_T + 180 = 0,36 \cdot 196 + 180 = 250.$$

Герметизуюче напруження змякшення прокладки для розрахункового тиску, МПа:

$$\sigma_n = \begin{cases} 70 \text{ МПа} - \text{для алюмінію} \\ 100 \text{ МПа} - \text{для міді} \\ 180 \text{ МПа} - \text{для сталі з } \sigma_T^{20} \leq 230 \text{ МПа} \end{cases}$$

$$\sigma_n = 70.$$

Ширина плоскої прокладки, м:

$$b \geq \frac{0,25 \cdot p \cdot D_1}{[\sigma]_K - \sigma_n - 0,25 \cdot p} = \frac{0,25 \cdot 5 \cdot 0,21}{250 - 70 - 0,25 \cdot 5} = 1,469 \cdot 10^{-3}.$$

Приймаємо $b = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Розрахунковий діаметр ущільнювальної поверхні, м:

$$D_R = D_1 + b = 0,21 + 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,211.$$

Осьове навантаження від дії тиску середовища на кришку, МН:

$$F_Q = \frac{\pi \cdot D_R^2}{4} \cdot p = \frac{\pi \cdot (0,211)^2}{4} \cdot 5 = 0,175.$$

Осьова реакція прокладки, МН:

$$F_p = \pi \cdot D_R \cdot b \cdot \sigma_n = \pi \cdot 0,211 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 70 = 0,07.$$

Розрахункове зусилля, що діє на шпильки, МН:

$$F = F_p + F_Q = 0,07 + 0,175 = 0,245.$$

Товщина прокладки, м:

$$S_{\text{пр}} = \begin{cases} 0,005, & \text{для } 0,4 \leq D_1 \leq 0,5 \\ 0,004, & \text{для } D_1 > 0,5 \end{cases}$$

$$S_{\text{пр}} = 0,005.$$

Висновок: в результаті проведення розрахунку була обрана прокладка з товщиною $S_{\text{пр}} = 0,005$.

4.2.5 Розрахунок фланцевого з'єднання апарата високого тиску

Метою розрахунку є розрахувати фланцеве з'єднання, що поширюється на ковані фланці, які з'єднані за допомогою зварювання з одношаровою обичайкою.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.13.

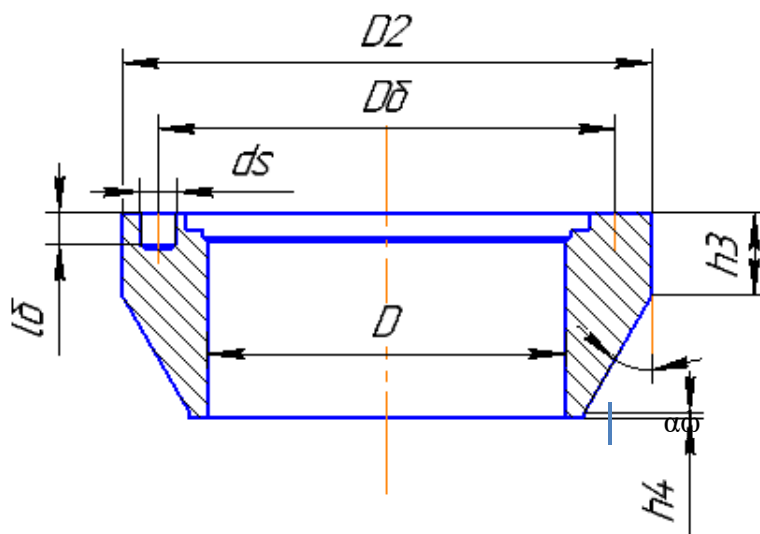


Рисунок 4.13 – Схема розрахунку фланцевого з'єднання апарата високого тиску

Вихідні дані:

Фланець корпусу виконаний кованим.

Матеріал фланців - 12X1H10T.

Затвор має ущільнювальне кільце трикутного перерізу

Внутрішній діаметр обичайки корпусу D , м 0,2;

Розрахунковий внутрішній тиск p , МПа 5;

Кількість шпильок z 8;

Глибина отвору під шпильки ц фланці l_δ , м 0,04;

Зовнішній діаметр різьби шпильки d_s , м 0,02;

Виконавча товщина обичайки, що стикується з фланцем S , м 0,08.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [38].

Діаметр окружності центрів шпильок, м:

$$D_6 \geq \max \left\{ \begin{array}{l} D + 2 \cdot d_s = 0,2 + 2 \cdot 0,02 = 0,24 \\ \frac{2,2 \cdot d_s}{\sin \frac{180}{z}} = \frac{2,2 \cdot 0,02}{\sin \frac{180}{8}} = 0,115 \\ 1,05 \cdot (D_1 + 2 \cdot b) + d_s = 1,05 \cdot (0,21 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}) + 0,02 = 0,244 \end{array} \right.$$

$$D_6 \geq \max\{0,24; 0,115; 0,244\}$$

Приймаємо $D_6 = 0,25$ м.

Зовнішній діаметр фланця, м:

$$D_1 \geq D_6 + 2 \cdot d_s = 0,25 + 2 \cdot 0,02 = 0,29.$$

Кут нахилу твірної конічної частини фланців:

$$\alpha_\phi = 30^\circ.$$

Коефіцієнт міцності зварного шва:

$$\varphi = 0,9.$$

Допустиме напруження матеріалу фланця при розрахунковій температурі, МПа:

$$[\sigma] = \min \left(\frac{\sigma_T}{n_T}; \frac{\sigma_B}{n_B} \right) = \min \left(\frac{196}{1,5}; \frac{490}{2,4} \right) = 130,667.$$

Розрахунковий коефіцієнт товстостінності:

$$\beta_R = e^{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}} = e^{\frac{5}{130,667 \cdot 0,9}} = 1,045$$

Розрахункова товщина стінки циліндричної частини фланця, що стикується з обичайкою корпусу, м:

$$S_{\phi R} = 0,5 \cdot D \cdot (\beta_R - 1) = 0,5 \cdot 0,2 \cdot (1,045 - 1) = 4,5 \cdot 10^{-3}.$$

Радіус переходу від конічної частини фланця до циліндричного корпусу, м:

$$r_n \geq S_{\phi R},$$

$$r_n \geq 4,5 \cdot 10^{-3}.$$

Приймаємо

$$r_n = 4,5 \cdot 10^{-3}.$$

Сума додатків до розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 2 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-3} + 0 = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної частини фланця, що стикується з обичайкою корпусу, м:

$$S_{\phi} = \max\{S_{\phi R} + C + C_0; S\} = \max\{0,0045 + 0,0032 + 0,0003; 0,008\} = 0,08$$

Коефіцієнт товстостінності:

$$\beta = \frac{D + 2 \cdot (S - C)}{D} = \frac{0,2 + 2 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 3,2 \cdot 10^{-3})}{0,2} = 1,048.$$

Допустимий тиск, МПа:

$$[p] = [\sigma] \cdot \varphi \cdot \ln \beta = 126,667 \cdot 0,9 \cdot \ln(1,06) = 6,852.$$

Перевірка умови застосування розрахункових формул:

$$\begin{aligned} \frac{S - C}{D} &\leq 0,4, \\ \frac{8 \cdot 10^{-3} - 3,2 \cdot 10^{-3}}{0,2} &\leq 0,4, \\ 0,024 &< 0,4. \end{aligned}$$

Висота циліндричної частини фланця корпусу, м:

$$\begin{aligned} h_3 &\geq l_6 + 0,25 \cdot d_s \text{ при } \alpha_{\phi} \leq 30^{\circ}, \\ h_3 &= l_6 + 0,25 \cdot d_s = 0,04 + 0,25 \cdot 0,02 = 0,045. \end{aligned}$$

Висота циліндричної частини фланця, який стикується з обичайкою, м:

$$\begin{aligned} h_4 &\geq 0,7 \cdot S_{\phi R} \text{ при } \alpha_{\phi} \leq 30^{\circ} \\ h_4 &= 0,7 \cdot S_{\phi R} = 0,7 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} = 3,15 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Приймаємо $h_4 = 3,2 \cdot 10^{-3}$

Висновок: Визначено виконавчу товщину стінки циліндричної частини фланця, що стикується з обичайкою корпусу, яка дорівнює 8 мм.

4.2.6 Розрахунок шпильок на міцність

Метою розрахунку є розрахувати параметри шпильки, та перевірити їх на міцність.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.14.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

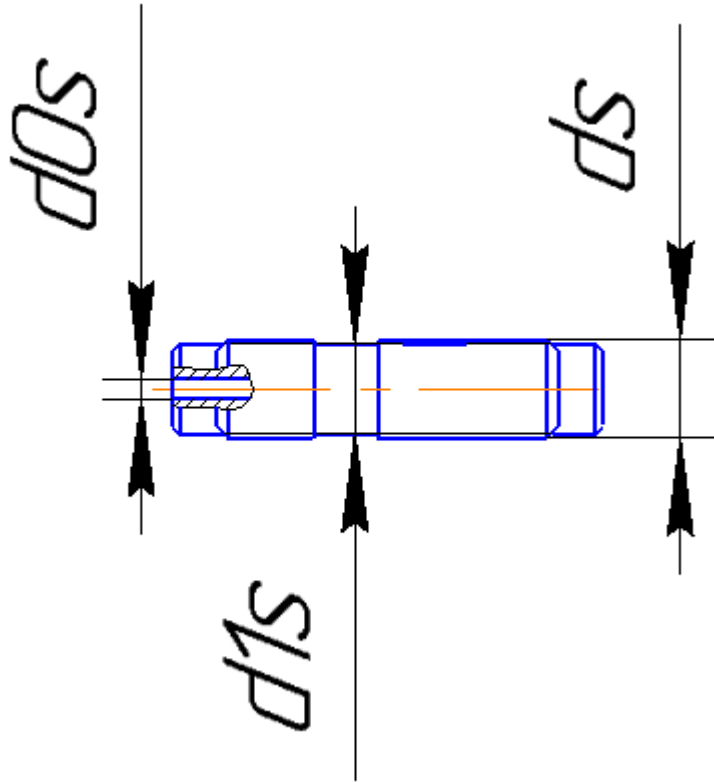


Рисунок 4.14 – Схема розрахунку шпильок на міцність

Вихідні дані:

Шпильки виконані зі сталі 35 і не мають центрального отвору.

Матеріал корпусу – 12X18Н10Т.

Ущільнення - з трикутною прокладкою.

Кількість шпильок z 8;

Мінімальне значення границі плинності матеріалу шпильок при розрахунковій температурі σ_{TS} , МПа 315;

Мінімальне значення границі міцності матеріалу шпильок при розрахунковій температурі σ_{BS} , МПа 530;

Мінімальне значення границі міцності матеріалу корпусу при розрахунковій температурі σ_{BK} , МПа 490;

Внутрішній діаметр корпусу D , м 0,2;

Розрахунковий внутрішній тиск p , МПа 5;

Розрахункове зусилля, що діє на шпильки F, МН

0,3.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [38].

Коефіцієнт що враховує тангенціальні напруження у шпильці при зтягуванні:

$$K_{1S} = \begin{cases} 1,1 - \text{для випадку зтягування шпильок ущільнення плоскою} \\ \text{прокладкою прикладенням крутильного моменту} \\ 1,0 - \text{для інших випадків} \end{cases}$$

$$K_{1S} = 1,0$$

Коефіцієнт що враховує нерівномірність розподілу навантаження поміж шпильками:

$$K_{2S} = \begin{cases} 1,1 - \text{при рівномірному зтягуванні шпильок у границях 10\%} \\ \text{і контролю подовжень або зусиль у всіх шпильках} \\ 1,3 - \text{якщо в процесі зтягування у шпильках вимірюються} \\ \text{подовження або зусилля} \\ 1,5 - \text{для інших випадків} \end{cases}$$

$$K_{2S} = 1,5$$

Допустиме напруження матеріалу шпильки при розрахунковій температурі, МПа:

$$[\sigma]_s = \frac{\sigma_{TS}}{n_T} = \frac{315}{1,5} = 210.$$

Розрахунковий діаметр стержня шпильки, м:

$$d_{1SR} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot K_{1S} \cdot K_{2S} \cdot F}{\pi \cdot z \cdot [\sigma]_s}} + d_{0S}^2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,3}{\pi \cdot 8 \cdot 210}} + 0 = 0,018.$$

Зовнішній діаметр різьби, м:

Приймаємо $d_s = 0,02$ м.

Середній діаметр різьби, м:

$$d_{2S} = 0,0184.$$

Внутрішній діаметр різьби, м:

$$d_{3S} = 0,0173.$$

Виконавчий діаметр стержня, м:

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймають з умови:

$$d_{3S} \leq d_{1S} \leq 0,5 \cdot (d_{2S} + d_{3S}),$$
$$0,0173 \leq d_{1S} \leq 0,5 \cdot (0,0184 + 0,0173).$$

Приймаємо $d_{1S} = 0,0178$ м.

Співвідношення механічних характеристик різьбової пари:

$$\frac{\sigma_{BS}}{\sigma_{BK}} = \frac{530}{490} = 1,08.$$

Розрахункова довжина згвинчування різьби, м:

$$l_R = \begin{cases} 1,2 \cdot d_S & \text{при } \frac{\sigma_{BS}}{\sigma_{BK}} \leq 1,5 \\ 0,5 \cdot d_S \cdot \left(1 + \frac{\sigma_{BS}}{\sigma_{BK}}\right) & \text{при } 1,5 < \frac{\sigma_{BS}}{\sigma_{BK}} \leq 2,0 \end{cases}$$
$$l_R = 1,25 \cdot 0,02 = 0,025.$$

Крок різьби, м:

$$t_S = 0,0025.$$

Перевірка умови застосування розрахункової формули для визначення довжини згвинчування різьби:

$$\frac{d_S}{t_S} \leq \begin{cases} 20 & \text{для } 0,0025 \text{ м} \leq t_S < 0,006 \text{ м} \\ 33 & \text{для } t_S = 0,006 \end{cases}$$
$$\frac{0,02}{0,0025} = 8 < 33.$$

Умова застосування розрахункової формули виконується.

Висновок: Розраховані параметри шпильки. Обрана шпилька з $d_S = 0,02$ м.

Та перевірені умови міцності.

4.3.1 Розрахунок змішувача

Метою розрахунку є визначення об'єму, основних геометричних та конструктивних параметрів апарату.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.15.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

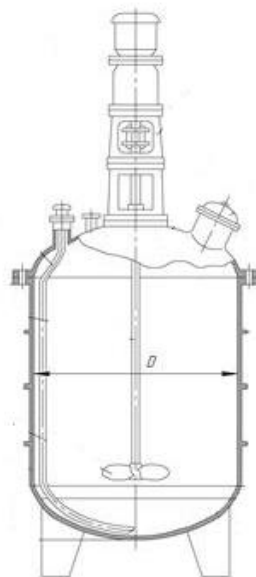


Рисунок 4.15 – Схема розрахунку змішувача

Вихідні дані:

густина рідини ρ_p , кг/м ³	998,203;
в'язкість рідини μ_p , Н·с/м ³	$1005 \cdot 10^{-6}$;
розмір твердих часток $d_{\text{ч}}$, мм	0,5;
густина твердої фази $\rho_{\text{тв}}$, кг/м ³	2900;
діаметр апарата D, мм	1000;
Співвідношення твердої фази і рідкої фаз в суспензії	T:P=1:5.

Розрахунок проведено за методикою, наведеною в літературі [39].

Враховуючи відносно невеликий розмір і густину суспендованих часток, а також невисоку в'язкість рідини, обираєм пропелерну мішалку діаметром 360 мм, при відношенні кроку гвинта до діаметра посудини $S/D=1$.

Для розрахунку визначаючого числа обертів n_0 мішалки знаходимо значення безрозмірних величин, що входять в праву частину рівняння:

$$G_a = \frac{d_{\text{ч}}^3 \cdot \rho_p^2 \cdot g}{\mu_p^2} = \frac{0,5^3 \cdot 998,203^2 \cdot 9,81}{(1005 \cdot 10^{-6})^2} = 1,21 \cdot 10^{12},$$

$$\frac{\rho_{\text{ТВ}}}{\rho_{\text{р}}} = \frac{2900}{998,203} = 2,905,$$

$$\frac{d_{\text{ч}}}{d} = \frac{0,5}{360} = 0,001389,$$

$$\frac{D}{d} = \frac{1000}{360} = 2,778.$$

Розраховуємо критерій $Re_{\text{м}}$:

$$Re_{\text{м}} = C \cdot G_a^K \cdot \left(\frac{\rho_{\text{ТВ}}}{\rho_{\text{р}}}\right)^L \cdot \left(\frac{d_{\text{ч}}}{d}\right)^m \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^n =$$

$$= 0,105 \cdot (1,21 \cdot 10^{12})^{0,6} \cdot \left(\frac{2900}{998,203}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{0,5}{360}\right)^{0,4} \cdot \left(\frac{1000}{360}\right)^{1,8} = 1,982 \cdot 10^6,$$

де значення коефіцієнта C і показників степенів обираємо з [39].

Розраховується визначаюче число обертів мішалки, $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$:

$$n_0 = \frac{Re_{\text{м}} \cdot \mu_{\text{р}}}{d_{\text{ч}}^2 \cdot \rho_{\text{р}}} = \frac{1,982 \cdot 10^6 \cdot 1005 \cdot 10^{-6}}{0,5^2 \cdot 998,203} = 7,982 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 479.$$

Це число обертів допустиме так як для пропелерних мішалок число обертів складає 160-1000 об/хв.

Визначення потужності мішалки:

Для мішалки з характеристикою що відповідає:

$$\alpha = \frac{D}{d} = 3; \beta = \frac{H}{D} = 1; \frac{S}{d} = 1.$$

Коефіцієнт $Eu=0,225$.

$$\frac{D}{d} = \frac{1000}{360} = 2,778; \frac{H}{D} = 1; \frac{S}{d} = 1.$$

Тому і вводимо до величини Eu поправочні коефіцієнти, які враховують відсутність геометричної подібності модельної та даній мішалок:

$$f_D = \left(\frac{D}{\alpha \cdot d}\right)^a = \left(\frac{2,778}{3}\right)^{0,93} = 0,931,$$

$$f_H = \left(\frac{H}{D}\right)^h = \left(\frac{1000}{1000}\right)^{0,6} = 1,$$

$$f_S = \left(\frac{S}{d}\right)^p = (1)^3 = 1,$$

де a , h , p -для мішалок без перегородок.

Крім того, вводимо поправочні коефіцієнти на шорсткість стінок апарата $f_{ш} = 1,1$ та наявність гільзи термометра $f_e = 1,1$.

Таким чином, сумарна величина коефіцієнта Eu з усіма поправками складе:

$$Eu_1 = Eu \cdot f_D \cdot f_H \cdot f_s \cdot f_{ш} \cdot f_e = 0,225 \cdot 0,931 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 0,2535.$$

Робоча потужність що використовується мішалкою, Вт:

$$N_p = Eu_1 \cdot d_{ч}^5 \cdot n_0^3 \cdot \rho_p = 0,2535 \cdot 0,5^5 \cdot 7,982^3 \cdot 998,203 = 4021.$$

Приймаємо ккд передачі від електродвигуна до валу мішалки $\eta_m=0,9$, коефіцієнт запасу потужності (на випадок можливих перевантажень) $f = 1,2$ і визначаєм потужність електродвигуна, Вт:

$$N_{дв} = \frac{N_p \cdot f}{\eta_m} = \frac{4021 \cdot 1,2}{0,9} = 5361.$$

4.3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Мета розрахунку: розрахувати фланцеве з'єднання, що складається з двох плоских приварних фланців, зробити перевірку міцності прокладки та болтів, а також перевірити на міцність та герметичність фланцеве з'єднання.

Розрахункова схема фланцевого з'єднання показана на рисунку 4.16.

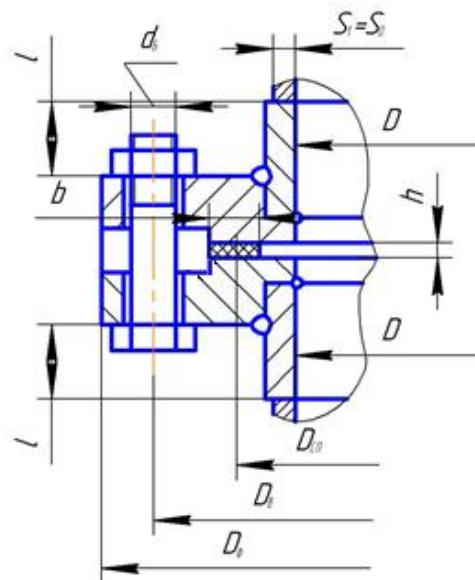


Рисунок 4.16 – Розрахункова схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані:

Внутрішній тиск P , МПа	0,1;
Температура середовища t , °C	20;
Внутрішній діаметр фланцевого з'єднання D , м	1,0;
Товщина стінки апарату S_1 , мм	8;
Товщина прокладки h , мм	2;
Ширина прокладки b , м	0,02.

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [40, с. 62-68].

Розрахунок допоміжних величин

Відношення більшої товщини втулки до меншої приймаємо $\beta=1$.

Середній діаметр прокладки, м:

$$D_{\text{сп}} = D_{\text{п}} - b = 1,052 - 0,02 = 1,032.$$

Ефективна ширина прокладки, м:

$$\text{при } b > 0,015 \text{ м } b_{\text{Е}} = 0,06 \cdot \sqrt{b} = 0,06 \cdot \sqrt{0,02} = 8,485 \cdot 10^{-3}.$$

Конструктивний коефіцієнт для фланців:

$$K_{\phi} = \frac{D_{\phi}}{D} = \frac{1,13}{1,0} = 1,13.$$

Конструктивні коефіцієнти для фланців:

$$\lambda_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,03}{\sqrt{1 \cdot 0,014}} = 0,254,$$

$$\lambda_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{0,03}{\sqrt{1 \cdot 0,014}} = 0,254.$$

Поправковий коефіцієнт для фланців:

$$\psi_{1\phi} = 1,28 \cdot \lg(K_{\phi}) = 1,28 \cdot \lg(1,13) = 0,068,$$

					ЛН71мл.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi}+1}{K_{\phi}-1} = \frac{1,13+1}{1,13-1} = 16,385.$$

Поправковий коефіцієнт для перерізу S_0 приймаємо $\psi_3 = 1$.

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi 1} = \frac{h_{\phi 1}}{S_0} = \frac{0,03}{0,0014} = 2,143,$$

$$j_{\phi 2} = \frac{h_{\phi 2}}{S_0} = \frac{0,03}{0,014} = 2,143.$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(K_{\phi})) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} = \frac{1,13^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg(1,13)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,13^2) \cdot (1,13 - 1)} = 1,864.$$

Безрозмірні параметри фланців:

$$\omega_{\phi 1} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 1}^2)]^{-1} = [1 + 0,9 \cdot 0,254 \cdot (1 + 0,068 \cdot 3,75^2)]^{-1} = 0,77,$$

$$\omega_{\phi 2} = [1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2} \cdot (1 + \psi_{1\phi} \cdot j_{\phi 2}^2)]^{-1} = [1 + 0,9 \cdot 0,254 \cdot (1 + 0,068 \cdot 3,75^2)]^{-1} = 0,77.$$

Кутова піддатливість фланців, $\frac{1}{\text{МН} \cdot \text{м}}$:

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 1}^3 \cdot E_{\phi 1}^t} = \frac{[1 - 0,77 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,254)] \cdot 16,385}{0,03^3 \cdot 1,949 \cdot 10^5} = 0,171,$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{h_{\phi 2}^3 \cdot E_{\phi 2}^t} = \frac{[1 - 0,77 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,254)] \cdot 16,385}{0,03^3 \cdot 1,949 \cdot 10^5} = 0,171.$$

Розрахункова довжина болтів фланцевого з'єднання, м:

$$L_B = h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h + 0,28 \cdot d_B = 0,03 + 0,03 + 0,002 + 0,28 \cdot 0,02 = 0,068.$$

Лінійна піддатливість неметалевої прокладки, м/МН:

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

$$y_{\Pi} = \frac{h}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b \cdot E_{\Pi}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,032 \cdot 0,02 \cdot 200} = 1,558 \cdot 10^{-5}.$$

Площа поперечного перерізу болта, м²:

$$f_{\text{Б}} = 0,785 \cdot d_o^2 = 0,785 \cdot 0,0173^2 = 2,35 \cdot 10^{-4}.$$

Лінійна піддатливість болтів, м/МН:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot Z_{\text{Б}}} = \frac{0,068}{2 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 36} = 3,995 \cdot 10^{-5}.$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання, м/МН:

$$A_{\Phi} = [y_{\Pi} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (y_{\Phi 1} + y_{\Phi 2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})]^{-1} = [1,558 \cdot 10^{-5} + 3,995 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,166 + 0,166) \cdot (1,09 - 1,032)]^{-1} = 2111.$$

Параметри жорсткості фланців, 1/МН:

$$B_{\Phi 1} = y_{\Phi 1} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_o) = 0,166 \cdot (1,09 - 1,0 - 0,014) = 0,01263,$$

$$B_{\Phi 2} = y_{\Phi 2} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_o) = 0,166 \cdot (1,09 - 1,0 - 0,014) = 0,01263.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\Phi} \cdot y_{\text{Б}} = 2111 \cdot 3,995 \cdot 10^{-5} = 0,084.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\alpha_{\Phi} = A_{\Phi} \cdot [y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot (B_{\Phi 1} + B_{\Phi 2}) \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{сп}})] = 2111 \cdot [3,995 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot (0,01263 + 0,01263) \cdot (1,09 - 1,032)] = 0,858.$$

Розрахунок болтів фланцевого з'єднання

$$t_6 = t_{\Phi} \cdot 0,97 = 19,4 \approx 20^{\circ}\text{C}$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску, МН:

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot p = 0,785 \cdot 1,032^2 \cdot 0,1 = 0,084.$$

Реакція прокладки у робочих умовах, МН:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot t \cdot p = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,032 \cdot 8,485 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,1 = 0,014.$$

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання:

$$\gamma \cdot Z_B \cdot f_B \cdot E_B^t \cdot (\alpha_\phi^t \cdot t_\phi - \alpha_B^t \cdot t_B) = 0,075 \cdot 24 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \\ (1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 20 - 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot 20) = 0,01 > 0,$$

тому $Q_{t\phi} = 0,01$ МН.

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку, МН:

$$P'_{B1} = \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_E \cdot q = 3,14 \cdot 1,032 \cdot 8,485 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,55,$$

$$P''_{B1} = \alpha_\phi \cdot (Q_d + P) + R_n + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{сп}}} = 0,858 \cdot (0,084 + 0) + 0,014 + \frac{4 \cdot 0}{1,032} = 0,085,$$

$$P'''_{B1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot Z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 230 \cdot 36 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} = 0,778.$$

Розрахункове навантаження на болти, МН:

$$p \leq 0,1 \text{ МПа, тому } P_{B1} = \max\{P'_{B1}; P''_{B1}; P'''_{B1}\} = \max\{0,55; 0,085; 0,778\} = \\ = 0,778.$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{B1}}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b} = \frac{0,778}{3,14 \cdot 1,032 \cdot 0,02} = 12,003 \text{ МПа} < [q] = 130 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Болтове навантаження за робочих умов, МПа:

					ЛН71мл.066619.001 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_d + P) + Q_{t\phi} = 0,778 + (1 - 0,858) \cdot (0,084 + 0) + 0,01 = 0,8.$$

Розрахункове навантаження на болти, МПа:

$$P_{B\phi} = \max\{P_{B1}; P_{B2}\} = \{0,778; 0,8\} = 0,8.$$

Напруження в болтах за умов монтажу, МПа:

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{B1}}{Z_B \cdot f_B} = \frac{0,778}{36 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 92.$$

Напруження розтягування в болтах за робочих умов, МПа:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{B2}}{Z_B \cdot f_B} = \frac{0,796}{36 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 94,613.$$

Скручуючий момент, що виникає від розтягування гайок, МН · м:

$$M_{скр} = f_1 \cdot \frac{P_{B\phi}}{Z_B} \cdot d_B = 0,1 \cdot \frac{0,8}{36} \cdot 0,02 = 4,447 \cdot 10^{-5}.$$

Дотичне напруження в болтах, МПа:

$$\tau_B = \frac{M_{скр}}{0,2 \cdot d_o^3} = \frac{4,421 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,017^3} = 45,256.$$

Еквівалентні напруження в болтах, МПа:

$$\sigma_B^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{92^2 + 3 \cdot 45,256^2} = 120,864,$$

$$\sigma_B^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3 \cdot \tau_B^2} = \sqrt{94,613^2 + 3 \cdot 45,256^2} = 122,865.$$

Умови міцності болтів:

$$\sigma_B^{20} = 120,864 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^{20} = 230 \text{ МПа},$$

$$\sigma_B^t = 122,865 \text{ МПа} \leq [\sigma_B]^t = 230 \text{ МПа}.$$

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Умови міцності виконуються.

Розрахунок фланців на міцність

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланців за умов монтажу, МН · м:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{Б\phi} \cdot (D_{Б} - D_{сп}) = 0,5 \cdot 0,8 \cdot (1,09 - 1,032) = 0,023.$$

Приведений згинаючий момент в діаметральному перерізі фланця за робочих умов, МН · м:

$$M_{02\phi} = 0,5 \cdot [P_{Б2} \cdot (D_{Б} - D_{сп}) + Q_{д} \cdot (D_{сп} - D - S_o) \cdot \frac{[\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t}] = 0,5 \cdot [0,8 \cdot (1,09 - 1,032) + 0,084 \cdot (1,032 - 1 - 0,014) \cdot \frac{147}{147}] = 0,024.$$

Розрахунковий згинаючий момент у діаметральному перерізі фланця, МН · м:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\} = \{0,023; 0,024\} = 0,024.$$

Максимальні напруження в перерізі S_o фланців від дії вигинаючого моменту $M_{0\phi}$, МПа:

$$\sigma_{0\phi 1} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 1}}{D^* \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,864 \cdot 0,024 \cdot 0,77}{1 \cdot (0,014 - 0,002)^2} = 238,739,$$

$$\sigma_{0\phi 2} = \psi_3 \cdot \frac{T_{\phi} \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_{\phi 2}}{D^* \cdot (S_o - C)^2} = 1 \cdot \frac{1,864 \cdot 0,024 \cdot 0,77}{1 \cdot (0,014 - 0,002)^2} = 238,739.$$

де $D^* = D = 1$ м, якщо $D = 1 \geq 20 \cdot S_o = 20 \cdot 0,014 = 0,28$ м.

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинаючого моменту $M_{0\phi}$, МПа:

$$\sigma_{к\phi 1} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 1})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 1}^2} = \frac{0,024 \cdot [1 - 0,77 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,254)] \cdot 16,385}{1 \cdot 0,03^2} = 23,548,$$

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{\kappa\phi 2} = \frac{M_{0\phi} \cdot [1 - \omega_{\phi 2} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi 2})] \cdot \psi_{2\phi}}{D \cdot h_{\phi 2}^2} = \frac{0,024 \cdot [1 - 0,77 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,254)] \cdot 16,385}{1 \cdot 0,03^2} = 23,548.$$

Кільцеве та меридіанне напруження у циліндричній втулці фланця від дії внутрішнього тиску p , МПа:

$$\sigma_{x\phi 1} = \sigma_{x\phi 2} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S_o - c)} = \frac{0,1 \cdot 1}{2 \cdot (0,014 - 0,002)} = 4,167,$$

$$\sigma_{y\phi 1} = \sigma_{y\phi 2} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (S_o - c)} = \frac{0,1 \cdot 1}{4 \cdot (0,014 - 0,002)} = 2,577.$$

Еквівалентні напруження в перерізі циліндричної втулки фланців, МПа:

$$\sigma_{E\phi 1} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1})^2 + \sigma_{x\phi 1}^2 - (\sigma_{0\phi 1} + \sigma_{y\phi 1}) \cdot \sigma_{x\phi 1}} = \sqrt{(238,739 + 2,577)^2 + 4,167^2 - (238,739 + 2,577) \cdot 4,167} = 239,26,$$

$$\sigma_{E\phi 2} = \sqrt{(\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2})^2 + \sigma_{x\phi 2}^2 - (\sigma_{0\phi 2} + \sigma_{y\phi 2}) \cdot \sigma_{x\phi 2}} = \sqrt{(238,739 + 2,577)^2 + 4,167^2 - (238,739 + 2,577) \cdot 4,167} = 239,26.$$

Умова міцності:

$$[\sigma_{\phi 1}^{S_o}] = [\sigma_{\phi 2}^{S_o}] = 0,003 \cdot E_{\phi 1}^t = 0,003 \cdot E_{\phi 2}^t = 0,003 \cdot 2 \cdot 10^5 = 600 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{E\phi 1} = 239,26 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_o}] \cdot \varphi = 0,9 \cdot 600 = 540 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{E\phi 2} = 239,26 \text{ МПа} \leq [\sigma_{\phi 2}^{S_o}] \cdot \varphi = 0,9 \cdot 600 = 540 \text{ МПа}.$$

Умови міцності виконуються

Умови герметичності:

$$\text{При } D = 1 \leq 2 \text{ м } [\theta] = 0,009 \text{ рад}$$

					ЛН71мн.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 1} \cdot D}{E_{\phi 1}^t \cdot h_{\phi 1}} = \frac{23,538 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,03} = 0,004 < [\theta] = 0,009$$

$$\frac{\sigma_{\kappa\phi 2} \cdot D}{E_{\phi 2}^t \cdot h_{\phi 2}} = \frac{23,538 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,03} = 0,004 < [\theta] = 0,009.$$

Умови герметичності виконуються.

Висновок: В результаті розрахунку був прийнятий плоский приварний фланець для діаметра корпусу $D = 1$ м, який перевіряється гідравлічними випробуваннями, тиском $P = 0,1$ МПа. Умови міцності та герметичності фланцевого з'єднання виконуються.

4.3.3 Розрахунко на міцність (несучу спроможність) вертикальних циліндричних обичайок від дії реакцій опорних лап

Мета: перевірити несучу спроможність обичайки під дією опорних навантажень.

Розрахункова схема наведена на рисунку 4.17.

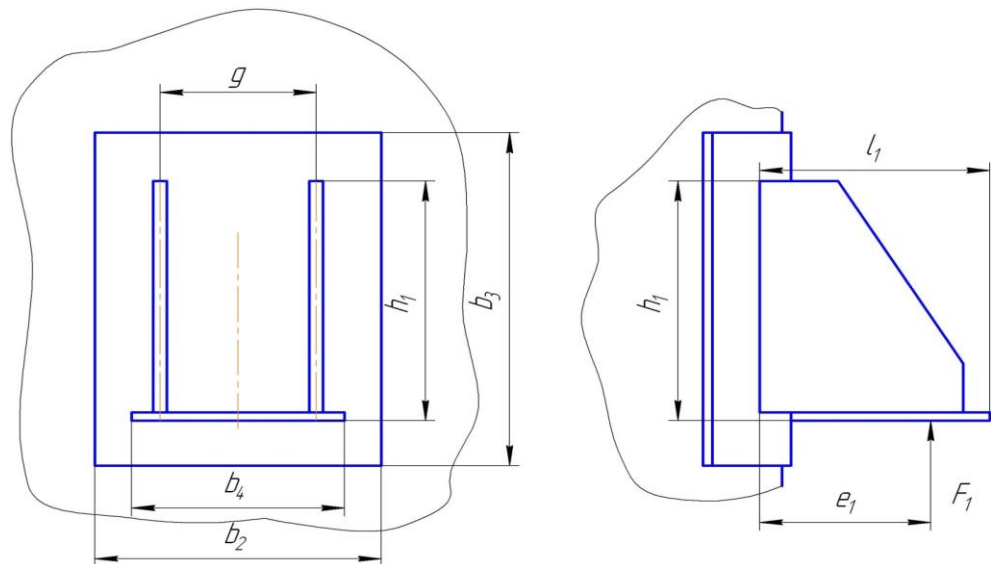


Рисунок 4.17 – Розрахункова схема

Вихідні данні:

виліт опори l_1 , м	0,39;
вага апарата G , кН	0,108;
відстань від зовнішньої стінки апарату до опорної поверхні f , м	0,12;
товщина стінки апарату S , м	0,006;
висота опори h_1 , м	0,585;
діаметр апарату внутрішній D , м	1;
число опор z	4;
допустиме напруження $[\sigma]$, МПа	126,667;
робочий тиск P_p , МПа	0,1.

Розрахунок здійснено за методикою, наведеною у літературі [41].

Розрахунковий діаметр обичайки, м:

$$D_R = D_R^u = D = 1.$$

Умова застосування формул:

$$\frac{(S - C)}{D_R} \leq 0,05$$

$$\frac{(0,006 - 1,2 \cdot 10^{-3})}{1} = 4,8 \cdot 10^{-3} < 0,05.$$

$C = 1,2 \cdot 10^{-3}$ – коефіцієнт корозійної стійкості, адже обичайка стійка до середовища що її оточує.

Умова виконується.

Відстань між точкою прикладання зусилля та обичайкою або підкладним листом, м:

Якщо відстань не задана умовою задачі

$$e_1 = 5 \cdot \frac{l_1}{6} = 5 \cdot \frac{0,39}{6} = 0,325.$$

Загальні мембранні напруження, МПа:

$$\bar{\sigma}_{m\gamma}^u = \frac{p \cdot D_R^u}{2 \cdot (S - C)} = \frac{0,1 \cdot 1}{2 \cdot (0,006 - 1,2 \cdot 10^{-3})} = 10,417.$$

Коефіцієнт $K_2 = 1,2$ – для робочих умов.

Коефіцієнт міцності зварного шва:

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{Якщо } f > \sqrt{D_R \cdot S} = \sqrt{1 \cdot 0,006} = 0,077, \varphi = 1.$$

Перевірка несучої спроможності вузла приварки опорної лапи до циліндричної обичайки без підкладного листа.

Загальні мембранні напруження у циліндричних обичайках, МПа:

$$\bar{\sigma}_m^u = \bar{\sigma}_{m_y}^u = \bar{\sigma}_m = 10,417.$$

Коефіцієнт, що враховує ступінь навантаження загальними напруженнями:

$$v_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\bar{\sigma}_m}{[\sigma] \cdot \varphi} = \frac{1,2}{1,5} \cdot \frac{10,417}{126,667 \cdot 1} = 0,066.$$

Коефіцієнт що враховує відношення місцевих мембранних напружень до місцевих напружень вигину.

$$\text{Якщо } v_2 \geq 0, v_1 = 0,3.$$

Коефіцієнт K_1 :

$$K_1 = \frac{1 + 3 \cdot v_1 \cdot v_2}{3 \cdot v_1^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{9 \cdot v_1^2 \cdot (1 - v_2^2)}{(1 + 3 \cdot v_1 \cdot v_2)^2} + 1} - 1 \right) = 1,22.$$

Граничне напруження вигину обичайки у місці приварки опорної лапи, МПа:

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1,22 \cdot 126,667 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 193,167.$$

Геометричні параметри конструктивних вузлів приєднання опорних лап до обичайки:

$$u = \ln \frac{D_R}{2 \cdot (S - C)} = \ln \frac{1}{2 \cdot (0,006 - 1,2 \cdot 10^{-3})} = 2,043,$$

$$y = \ln \frac{h_1}{D_R} = \ln \frac{0,585}{1} = -0,536,$$

$$y_1 = \ln \frac{b_4}{D_R} = \ln \frac{0,38}{1} = -0,968.$$

Коефіцієнт K_7 :

$$K_7 = f_1(u, y)$$

$$\ln z = (-5,964 - 11,395 \cdot u - 18,984 \cdot y - 2,413 \cdot u^2 - 7,286 \cdot u \cdot y - 2,045 \cdot y^2 + 0,1322 \cdot u^2 + 0,483 \cdot u^2 \cdot y + 0,8469 \cdot u \cdot y^2 + 1,428 \cdot y^3) \cdot 10^{-2}$$

					ЛН71мн.066619.001 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_7 = z = 0,807.$$

Зусилля, що діє на опорну лапу, яка приварена до циліндричної обичайки, МН:

$$F_1 = \frac{G}{3} + \frac{M}{D + 2 \cdot (e_1 + S)} = \frac{108,793 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{0}{1 + 2 \cdot (0,325 + 0,006)} =$$

Допустиме зусилля у вузлі приварки опорної лапи до обичайки, МН:

$$\text{Якщо } \frac{g}{h_1} \geq \frac{0,32}{0,585} = 0,547$$

$$[F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot h_1 \cdot (S - C)^2}{K_7 \cdot e_1} = \frac{193,167 \cdot 0,585 \cdot (0,006 - 1,2 \cdot 10^{-3})}{0,807 \cdot 0,325} = 2,068.$$

Умова несучої спроможності опорного вузла:

$$F_1 \leq [F_1].$$

Висновок: умова міцності несучої спроможності виконується, тому в конструкцію введення підкладного листа не потрібно.

4.3.4 Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість

Метою розрахунку є визначення розрахункового діаметру вала, який задовольняє умовам вібростійкості, та знайти першу критичну кутову швидкість вала.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.18.

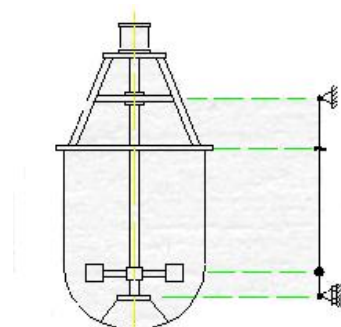


Рисунок 4.18 - Схема до розрахунку валу механічного перемішуючого пристрою на вібростійкість

Вихідні дані:

довжина вала L , м	1,515;
кількість деталей в прольоті n_d	1;
координати центрів ваги мішалки, l_1 , м	1,125;
маса мішалки m_{11} , кг	7,5;
густина матеріалу вала ρ , кг/м ³	7850;
частота обертання вала n , об/хв	479;
модуль пружності матеріалу вала E , Па	$2,1 \cdot 10^{11}$;
коефіцієнт, що враховує умову вібростійкості ξ	0,7;
коефіцієнт, що враховує умову закріплення η	48
коефіцієнт приведення маси вала, q	0,5.

Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою наведено в літературі [42].

Відносна координата центра тяжіння мішалки в прольоті, м:

$$\bar{l}_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{1,125}{1,515} = 0,743.$$

Безрозмірний динамічний прогин в центрі тяжіння мішалки:

$$\overline{y_{l1}} = \sin(\pi \cdot \bar{l}_1) = 0,723.$$

Кутова швидкість вала, с⁻¹:

$$\omega = \pi \cdot \frac{479}{30} = 50,161.$$

Безрозмірний коефіцієнт:

$$f = \frac{8 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot L^2}{\xi^2 \cdot \eta \cdot E} = \frac{8 \cdot 7850 \cdot 50,161^2 \cdot 1,515^2}{0,7^2 \cdot 48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} = 7,343 \cdot 10^{-5}.$$

Приведена маса мішалки в прольоті, кг:

$$m_{np} = m_1 \cdot \overline{y_{l1}}^2 = 7,5 \cdot 0,723^2 = 3,92.$$

Перший підкореневий одночлен, м²:

$$A_1 = q \cdot f \cdot L^2 = 0,5 \cdot 0,7343 \cdot 10^{-5} \cdot 1,515^2 = 8,427 \cdot 10^{-6}.$$

Другий підкореневий одночлен, м⁴:

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

$$A_2 = \frac{8 \cdot m_{\text{пр}} \cdot f \cdot L}{\pi \cdot \rho} = \frac{8 \cdot 3,92 \cdot 0,7343 \cdot 10^{-5} \cdot 1,515}{3,14 \cdot 7850} = 1,415 \cdot 10^{-8}.$$

Розрахунковий діаметр вала, м:

$$d_p = \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} = \sqrt{8,427 \cdot 10^{-6} + \sqrt{(8,427 \cdot 10^{-6})^2 + 1,415 \cdot 10^{-8}}} \\ = 0,011.$$

Приймаємо $d_p = 0,024$ м.

Маса 1 м довжини вала, кг:

$$m_L = \frac{\pi \cdot d_p^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,024^2 \cdot 7850}{4} = 3,551.$$

Відносна приведена маса деталі, кг:

$$\overline{m}_{\text{пр}} = \frac{m_{\text{пр}}}{m_L \cdot L} = \frac{3,92}{2,984 \cdot 1,515} = 0,729.$$

Корінь частинного рівняння:

$$\alpha = f(\overline{m}_{\text{пр}}) = 2,44.$$

Момент інерції перерізу вала, м⁴:

$$J = \frac{\pi \cdot d_p^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,024^4}{64} = 1,15 \cdot 10^{-8}.$$

Перша критична кутова швидкість, с⁻¹:

$$\omega_{\text{кр1}} = \left(\frac{\alpha}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m_L}} = \left(\frac{2,44}{1,515}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,15 \cdot 10^{-8}}{3,551}} = 80,497$$

Перевіримо виконання умови вібростійкості:

$$\frac{\omega}{\omega_{\text{кр}}} \leq 0,7, \\ \frac{50,161}{80,497} = 0,623 < 0,7.$$

Умова виконується

Висновок:

Вал перемішуючого пристрою задовольняє умову вібростійкості та може експлуатуватися за даних умов.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

4.3.5 Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість

Метою розрахунку є визначити максимальні сумарні зміщення вала від осі обертання в небезпечних по жорсткості перерізах: в місцях встановлення ущільнювальних пристроїв; в місцях де зазори між деталями, що обертаються та нерухомими деталями - малі.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.19

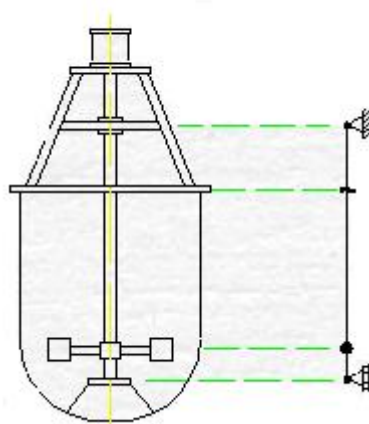


Рисунок 4.19 - Схема до розрахунку вала механічного перемішуючого пристрою на жорсткість

Вихідні дані:

довжина вала L , м	1,515;
кількість деталей в прольоті n_d	1;
координати центрів ваги мішалок l_1 , м	1,125;
маса мішалки m_1 , кг	7,5;
частота обертання вала n , об/хв	479;
кутова швидкість ω , s^{-1}	50,161;
густина матеріалу вала ρ , kg/m^3	7850;
модуль пружності матеріалу вала E , МПа	$2,1 \cdot 10^{11}$;

початкова вгнутість вала в точці приведення ε в, м	$0,06 \cdot 10^{-3}$;
радіальні зазори в опорах Δ_A , м	$0,04 \cdot 10^{-3}$;
Δ_B , м	$0,07 \cdot 10^{-3}$;
допустимі зміщення в небезпечних по жорсткості перерізах, $[A_{zi}]=[A_{zlj}]$, м	$0,25 \cdot 10^{-3}$;
в місцях встановлення деталей, $[A_{li}]$, м	$1 \cdot 10^{-2}$.

Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою наведено в літературі [43].

Ексцентриситет маси деталі, м:

$$e_1 = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{50,161}} = 1,412 \cdot 10^{-4}.$$

Відносна координата небезпечного по жорсткості перерізу, м:

$$\bar{Z}_1 = \frac{Z_1}{L} = \frac{1,125}{1,515} = 0,743.$$

Безрозмірний динамічний прогин в небезпечному по жорсткості перерізі в прольоті:

$$\bar{y}_{z1} = f(\bar{Z}_1) = 0,72.$$

Відносна координата центра тяжіння мішалки в прольоті, м:

$$\bar{l}_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{1,125}{1,515} = 0,743.$$

Безрозмірний динамічний прогин вала в місці встановлення деталі:

$$\bar{y}_{l1} = f(\bar{l}_1) = 0,72.$$

Приведений ексцентриситет маси деталі, м:

$$e_{1np} = \frac{e_1}{\bar{y}_{l1}} = \frac{1,412 \cdot 10^{-4}}{0,72} = 1,961 \cdot 10^{-4}.$$

Маса 1 м довжини вала, кг:

$$m_L = \frac{\pi \cdot d_p^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,025^2 \cdot 7850}{4} = 3,853.$$

Приведена маса вала, кг:

$$m_{впр} = 0,5 \cdot m_L \cdot L = 0,5 \cdot 3,853 \cdot 1,515 = 2,919.$$

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приведена маса деталі, кг:

$$m_{1np} = m_1 \cdot \bar{y}_{l1}^2 = 7,5 \cdot 0,72^2 = 3,888.$$

Зміщення перерізу вала в точці приведення В, пов'язане с зазорами в опорах, м:

$$\Delta_B = \frac{(\Delta_A + \Delta_B)}{2} = \frac{(0,04 \cdot 10^{-3} + 0,07 \cdot 10^{-3})}{2} = 2,003 \cdot 10^{-5}.$$

Приведений (до точки В) ексцентриситет мас деталей, м:

$$e_{np} = \frac{m_{1np} \cdot e_{1np}}{m_{вnp} + m_{1np}} + \Delta_B + \varepsilon_B = \frac{3,888 \cdot 1,961 \cdot 10^{-4}}{2,919 + 3,888} + 2,003 \cdot 10^{-5} + 0,06 \cdot 10^{-3} = 1,92 \cdot 10^{-4}.$$

Осьовий момент інерції перерізу валу, м⁴:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,025^4}{64} = 1,917 \cdot 10^{-8}.$$

Відносна приведена маса деталей, кг:

$$\bar{m}_{np} = \frac{m_{np}}{m_L \cdot L} = \frac{3,888}{3,853 \cdot 1,515} = 0,666.$$

Корінь частого рівняння:

$$\alpha_1 = f(\bar{m}_{np}) = 2,5.$$

Перша критична кутова швидкість, с⁻¹:

$$\omega_{кр} = \left(\frac{\alpha_1}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m_L}} = \left(\frac{2,5}{1,515}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,917 \cdot 10^{-8}}{3,853}} = 88,026.$$

Динамічний прогин валу в точці приведення, м:

$$y_B = \frac{e_{np}}{(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1} = \frac{1,961 \cdot 10^{-4}}{(88,026/50,161)^2 - 1} = 9,235 \cdot 10^{-5}.$$

Зміщення перерізу вала в точці закріплення деталі, викликане зазорами в перерізах, м:

$$\Delta_{li} = (\Delta_B - \Delta_A) \cdot \bar{l}_i + \Delta_A = (0,07 \cdot 10^{-3} - 0,04 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,743 + 0,04 \cdot 10^{-3} = 1,033 \cdot 10^{-5}.$$

Зміщення небезпечного перерізу вала, викликане зазорами в опорах, м:

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

$$\Delta_{Z1} = (\Delta_B - \Delta_A) \cdot Z_i + \Delta_A = (0,07 \cdot 10^{-3} - 0,04 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,743 + 0,04 \cdot 10^{-3} = 1,033 \cdot 10^{-5}.$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення деталі, викликане початковою вгнутістю вала, м:

$$\varepsilon_{l1} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{li} = 0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 0,72 = 4,32 \cdot 10^{-5}.$$

Зміщення небезпечного по жорсткості перерізу вала, викликане початковою вгнутістю вала, м:

$$\varepsilon_{Z1} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{Zi} = 0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 0,72 = 4,32 \cdot 10^{-5}.$$

Сумарне динамічне зміщення перерізу вала в точці приведення В, м:

$$A_B = y_B + \varepsilon_B + \Delta_B = 9,235 \cdot 10^{-5} + 0,06 \cdot 10^{-3} + 2,003 \cdot 10^{-5} = 1,724 \cdot 10^{-4}$$

Сумарне динамічне зміщення перерізу вала в центрі маси деталі, м:

$$A_{l1} = y_B \cdot \bar{y}_{li} + \varepsilon_{li} + \Delta_{li} + e_i = 5,144 \cdot 10^{-5} \cdot 0,72 + 4,32 \cdot 10^{-5} + 1,033 \cdot 10^{-5} + 1,412 \cdot 10^{-4} = 2,612 \cdot 10^{-4}.$$

Сумарне динамічне зміщення вала в небезпечному перерізі, м:

$$A_{Zi} = y_B \cdot \bar{y}_{Zi} + \Delta_{Zi} + \varepsilon_{Zi} = 5,144 \cdot 10^{-5} \cdot 0,72 + 1,033 \cdot 10^{-5} + 4,32 \cdot 10^{-5} = 1,2 \cdot 10^{-4}.$$

Перевіримо виконання умови жорсткості в прольоті:

$$A_{Zi} \leq [A_{Zi}],$$

$$A_{li} \leq [A_{li}],$$

$$A_{Z1} = 1,2 \cdot 10^{-4} < 0,25 \cdot 10^{-3},$$

$$A_{li} = 2,612 \cdot 10^{-4} < 1 \cdot 10^{-2}.$$

Умови жорсткості виконуються.

Висновок: після проведених розрахунків можемо зробити висновок, що вал можливо використовувати за заданих умов експлуатації.

4.3.6 Розрахунок валу механічного перемішуючого пристрою на міцність

Метою розрахунку є визначити найбільш небезпечний по міцності переріз вала, визначити еквівалентні напруження в небезпечних перерізах, розрахувати

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

допустимі напруження з урахуванням дії знакоперемінних напружень, часткових значень коефіцієнтів запасу міцності, коефіцієнтів концентрації напружень та порівняння еквівалентних напружень в небезпечних перерізах з допустимими.

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.20

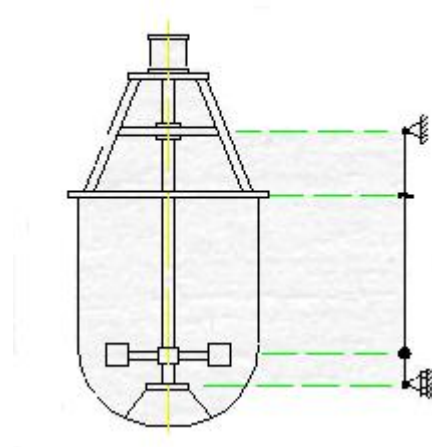


Рисунок 4.20 - Схема до розрахунку вала механічного перемішуючого пристрою на міцність

Вихідні дані:

довжина прольоту L , м	1,305;
кількість деталей в прольоті n_d	1;
координата центра ваги деталі в прольоті l_1 , м	1,125;
координати небезпечного перерізу в прольоті Z_1 ,	1,125;
маси мішалок m_1 , кг	7,5;
частота обертання вала n , об/хв,	479;
кутова швидкість обертання ω , с-1	50,161;
густина матеріалу вала ρ , кг/м ³	7850;
модуль пружності матеріалу вала E , МПа	$2,1 \cdot 10^{11}$;
початкова вгнутість вала в точці приведення ε_v , м	$0,06 \cdot 10^{-3}$;
радіальні зазори в опорах Δ_A , м	$0,04 \cdot 10^{-3}$;
Δ_B , м	$0,07 \cdot 10^{-3}$;
допустимі зміщення в небезпечних по жорсткості перерізах,	

$[A_{zi}]=[A_{z1j}]$, м	$0,25 \cdot 10^{-3}$;
в місцях встановлення деталей, $[A_{li}]$, м	$1 \cdot 10^{-2}$;
потужність, що витрачається однією мішалкою N_m , Вт	5361;
ефективний коефіцієнт концентрації напружень K_{σ} напружень	1,38;
мінімальний запас міцності на витривалість n_{min}	1,5;
сумарне динамічне зміщення вала в центрах мас деталей A_{l1} , м	$2,612 \cdot 10^{-4}$.

Розрахунок вала механічного перемішуючого пристрою на міцність наведено в літературі [44]

Приведена відцентрова сила що діє на деталь, Н:

$$F_1 = m_1 \cdot \omega^2 \cdot A_{l1} = 7,5 \cdot 50,161^2 \cdot 2,612 \cdot 10^{-4} = 2,532.$$

Приведена відцентрова сила маси валу що обертається, Н:

$$F_{впр} = m_{впр} \cdot \omega^2 \cdot A_B = 2,919 \cdot 50,161^2 \cdot 1,724 \cdot 10^{-4} = 1,266.$$

Реакція опори A , Н:

$$R_A = \frac{F_1 \cdot (L - l_1)}{L} + \frac{F_{впр}}{2} = \frac{2,532 \cdot (1,515 - 1,125)}{1,515} + \frac{1,266}{2} = 1,285.$$

Реакція опори B , Н:

$$R_B = \frac{F_1 \cdot (L - l_1)}{L} + \frac{F_{впр}}{2} = \frac{2,532 \cdot 1,125}{1,515} + \frac{1,266}{2} = 2,513.$$

Вигинаючий момент в небезпечних за міцністю перерізах між точками A та B , Н·м:

$$M_{Z1} = R_A \cdot Z_1 - F_1 \cdot (Z_1 - l_1) = 1,285 \cdot 1,125 - 2,532 \cdot (1,125 - 1,125) = 1,446.$$

Крутний момент в небезпечних за міцністю перерізах, Н·м:

$$M_{KPZ1} = \omega^{-1} \cdot N_1 = 50,161^{-1} \cdot 5361 = 106,876.$$

Момент опору небезпечних за міцністю перерізах валу, м³:

$$W_{Z1} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,025^3}{32} = 6,136 \cdot 10^{-5}.$$

Еквівалентні напруження в небезпечних за міцністю перерізах, Па:

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

$$\sigma_{Z1}^3 = \frac{\sqrt{M_{Z1}^2 + M_{KPZ1}^2}}{W_{Z1}} = \frac{\sqrt{1,446^2 + 106,876^2}}{6,136 \cdot 10^{-5}} = 1742000.$$

Масштабний фактор:

$$\varepsilon_{MZ1} = f(d) = 0,9.$$

Допустиме напруження на міцність в небезпечних перерізах, МПа:

$$[\sigma_{Z1}] = \frac{\varepsilon_{MZ1} \cdot \sigma_{-1}}{K_{\sigma} \cdot n_{min}} = \frac{0,9 \cdot 220}{1,38 \cdot 1,5} = 95,652.$$

Умова міцності:

$$\sigma_{Z1}^3 \leq [\sigma_{Z1}],$$

$$1,742 < 95,652.$$

Умова міцності виконується.

Висновок: розрахунки показали, що еквівалентні напруження в небезпечних перерізах вала набагато менші за допустимі, зл задовольняєумови міцності.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Основним завданням охорони праці є зведення до мінімуму імовірностей ураження або захворювань працюючих з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Сучасне обладнання, яке вводиться в експлуатацію має також бути відповідним до вимог техніки безпеки і охорони праці, які затверджені законом України “Про охорону праці”, прийнятому у 1993. Темою магістерської дисертації є «Модернізація установки очищення води з розробкою апарата зворотного осмосу та змішувача».

Основними шкідливими та небезпечними факторами робочого місця оператора являються:

- ураження електричним струмом;
- виробничий шум, вібрація;
- пожежонебезпека.

5.1 Повітря робочої зони

Контроль параметрів технологічного процесу здійснюється оператором лінії, пульт якого знаходиться в виробничому приміщенні, площею 300 м² і об’ємом 1800 м³ та висотою 6м.

На основі технологічної схеми маємо приміщення без надлишкового тепловиділення, тобто $Q < 20$ ккал/год м³ або $Q < 23.27$ Дж/с. м³ Оскільки професії на підприємствах точного приладо- і машинобудування відносяться до категорій робіт з інтенсивністю енерговитрат до 120 ккал / год (до 139 Вт), вироблені сидячи і супроводжуються незначним фізичним напруженням. Параметри повітря робочої зони для категорії роботи оператора та оптимальні умови роботи показані в таблиці 5.1.

Параметри повітря робочої зони відповідають ДСН 3.3.6.042-99.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 – Параметри повітря робочої зони та оптимальні умови роботи

Період року	Категорія рабiт за рівнем енерговтрат, Вт	Температура повітря, °С	Температура поверхонь, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка 1а	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплий	Легка га	23-25	22-26	60-40	0,1

Для досягнення в виробничих приміщеннях постійних температури, вологості і чистоти повітря незалежно від атмосферних умов і пори року застосовують установки кондиціонування повітря.

Кондиціонування повітря - автоматична підтримка в закритих приміщеннях всіх або окремих параметрів повітря (температури, відносної вологості, чистоти, швидкості руху) з метою забезпечення головним чином оптимальних метеорологічних умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей, ведення технологічного процесу. Такі установки автоматично створюють самостійний мікроклімат. При кондиціонуванні повітря нагрівають або охолоджують до потрібної температури, осушують або зволожують, необхідно чистити від пилу, домішок парів і газів.

Основні санітарно-гігієнічні вимоги до вентиляції виробничих приміщень визначені гігієнічними нормативами, а також будівельними нормами і правилами (далі СніП2.04.05 —91). Для ефективної роботи вентиляції важливо, щоб ще на стадії її проектування було передбачено виконання ряду санітарно-гігієнічних і технічних вимог.

Кількість повітря, необхідного для вентиляції виробничих приміщень і забезпечення необхідних параметрів повітряного середовища в робочій зоні,

встановлюється розрахунковим способом. Розрахунок ведеться по надлишку тепла, вологи або за кількістю виділяються шкідливих речовин (пилу, газів, парів). При одночасному виділенні в приміщенні тепла, вологи і шкідливих речовин необхідний повітрообмін повинен встановлюватися по переважаючої шкідливості.

Система вентиляції не повинна бути джерелом шуму і забруднення навколишнього середовища. В процесі експлуатації вентиляційні системи повинні обслуговуватися, очищатися від забруднень, ремонтуватися відповідно до встановленого графіка підготовленим персоналом.

5.2 Небезпека ураження електричним струмом

Оскільки підлога приміщення виготовлена з залізобетону. Відповідно до ПУЕ приміщення є з підвищеною небезпекою .

Живлення елементів установки забезпечується за допомогою трифазної напруги 220/380 В з частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю.

Технічні методи і засоби захисту, що забезпечують електробезпеку, повинні встановлюватися з урахуванням:

- а) номінальної напруги, роду і частоти струму електроустановки;
- б) способів електропостачання (від стаціонарної мережі, від автономного джерела живлення електроенергії);
- в) режиму нейтралі джерела живлення електроенергії (ізольована, заземлена нейтраль);
- г) види виконання електроустановки (стаціонарна, пересувна, переносна);
- д) умов зовнішнього середовища відповідно до класифікації ПУЕ (особливо небезпечні приміщення, приміщення підвищеної небезпеки; приміщення без підвищеної небезпеки; на відкритому повітрі);
- е) можливість зняття напруги з струмоведучих частин, на яких або поблизу яких слід провадити роботу;

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шум - це сукупність звуків різної інтенсивності і частоти, безладно змінюються в часі, що виникають у виробничих умовах і викликають у працівників неприємні відчуття і об'єктивні зміни органів і систем. Оцінюють шум в діапазоні частот від 45 до 11000 Гц. При акустичних вимірах визначають рівні звукового тиску в межах частотних смуг, рівних октаві (смуга частот, у якій відношення верхньої граничної частоти до нижньої дорівнює 2), полуоктаве або 1/3 октави встановлено за ДСН 3.3.6.037-99..

Для характеристики інтенсивності шуму прийнята вимірювальна система, що враховує наближену логарифмічну залежність між подразненням і слуховим сприйняттям шкала бел (або децибел - дБ). За цією шкалою кожна наступна ступінь інтенсивності звуку більша за попередню в 10 разів.

Заходи по боротьбі з шумом поділяються на організаційно-технічні, архітектурно-планувальні та лікувально-профілактичні, а саме:

- усунення причин виникнення шуму або зниження його в джерелі;
- застосування звукоізоляції, звукопоглинання, демпфірування і глушників шуму (активних, резонансних, комбінованих);
- пристрій «плаваючих» підлог;
- угруповання гучних приміщень в одній зоні будівлі і відділення їх коридорами;
- використання засобів індивідуального захисту;
- введення регламентованих додаткових перерв;
- проведення обов'язкових попередніх та періодичних медоглядів.

Шум, будучи загальнобіологічним подразником, впливає не тільки на слуховий аналізатор, але діє на структури головного мозку, викликаючи зрушення в різних функціональних системах організму. Серед численних проявів несприятливого впливу шуму на організм людини виділяються: зниження розбірливості мови, неприємні відчуття, розвиток втоми і зниження продуктивності праці, поява шумовий патології.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

Гранично допустимі рівні шуму на робочих місцях встановлені Санітарними нормами СН 2.2.4 / 2.1.8.562-96 «Шум на робочих місцях, у приміщеннях житлових, громадських будівель і на території житлової забудови».

Характеристики електродвигунів відповідно до ГОСТ 16372-84 перевищують передбачені ДСН норми допустимих рівнів шуму, маємо за необхідність вжити заходів щодо зниження шуму до нормативних значень.

Розрахунок зниження шуму і додаткового звукопоглинання

Лінія для очистки води знаходиться в приміщенні довжиною 30 м , шириною 10 м, висотою 6 м і об'ємом 1800 м³.

Потрібно визначити величину додаткового звукопоглинання ΔA_n для точки, розташованої на віддалі 6 м від джерела шуму і вибрати конструкцію звукопоглинача.

Величина граничного радіусу:

$$r = 0,2\sqrt{B_{8000}} \quad r = 0,2\sqrt{B_{8000}} = 0,2\sqrt{600} = 4,9 \text{ м.}$$

Категорія приміщення б (3 жорсткими меблями або з невеликою кількістю людей і м'якими меблями (лабораторії, ткацькі та деревообробні цехи, кабінети і т. п.).

Звідки $B_{1000}=100\text{м}^2$,

$$B_{8000}=\mu B_{1000}.$$

де μ частотний множник.

Для середньо геометрична частоти 800 Гц обираєм частотний множник $\mu = 6$.

$$\text{Тоді } B_{8000}=\mu B_{1000}=100\cdot 6=600 \text{ м}^2.$$

Величина очікуваного рівня звукового тиску визначається за формулою:

$$L = L_p + 10 \cdot \lg(a/S + 4/B)$$

$$L = L_p + 10 \cdot \lg(a/S + 4/B) = 93 + 10 \cdot \lg(1/(2 \cdot \pi r^2) + 4/600) = 73$$

де L_p — октавний рівень звукової потужності шуму, дБ;

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

$S = \pi r^2 = 560$ — площа уявної поверхні правильної геометричної форми, що оточує джерело і проходить через розрахункову точку (стеля – 300 м² і стіни - 260 м²), м²;

$$a = 1;$$

$$r = 6 \text{ м.}$$

Тоді необхідне зниження рівнів звукового тиску в розрахунковій точці від одного джерела шуму визначається як різниця очікуваного рівня звукового тиску в розрахунковій точці до реалізації заходів щодо зниження шуму L та допустимого рівня $L_{\text{доп}}$:

$$\Delta L_n = L - L_{\text{доп}}$$

$$L_{\text{доп}}(\text{ГС-75}) = 70.$$

$$\Delta L_n = L - L_{\text{доп}} = 73 - 70 = 3 \text{ дБ.}$$

При визначенні $L_{\text{доп}}$ приймаємо криву граничного спектра ГС-75.

Вибираємо плити “Вініпор” напівжорсткі товщиною 50 мм з повітряним прошарком 150мм.

Додаткове звукопоглинання, м²

$$S_{\text{ліч}} = \Delta A_n / a_{\text{ліч}} = 250 / 1 = 250$$

Використання для акустичної обробки цеху звукопоглинальних плит забезпечує зниження рівнів відбитого звуку, а рівні звукового тиску в контрольній точці відповідають ДСН 3.3.6.039-99.

5.4 Пожежна безпека та надзвичайні ситуації

Приміщення де оператор керує установкою відноситься до приміщень категорії В (ОНТП-24-86)..

Стійкість споруди за ПУЕ відповідає ступеню вогнестійкості II. Згідно ПУЕ клас зони установки П-Па.

Система попередження вибухів і пожеж.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підтримуються відповідні значення температур та тиску середовища, за яких поширення полум'я виключається;
- максимально механізовані та автоматизовані технологічні процеси;
- видаляються пожежонебезпечні відходи виробництва.
- використовуються машини, механізми, устаткування, пристрої, при експлуатації яких не утворюються джерела запалювання;
- використовуються швидкодійні засоби захисного відключення можливих джерел запалювання;
- використовуються технологічні процеси і устаткування, що задовольняє вимогам статичної іскробезпеки;
- температури нагріву поверхні машин, устаткування, пристроїв, речовин і матеріалів, які можуть увійти в контакт з горючим середовищем, підтримуються нижче гранично допустимої, яка не повинна перевищувати 80% температури самозаймання горючого середовища;
- виключається можливість появи іскрового розряду в горючому середовищі з енергією, яка дорівнює або перевищує мінімальну енергію запалювання;
- використовується інструмент, робочий одяг і взуття, які не викликають іскроутворення при виконанні робіт;
- зменшується розмір горючого середовища нижче гранично допустимого за горючістю;
- виконуються вимоги чинних стандартів, норм та правил пожежної безпеки;
- використовується електроустаткування, що відповідає за своїм виконанням пожежонебезпечним та вибухонебезпечним зонам, групам та категоріям вибухонебезпечних сумішей.

При виникненні пожежі використовують порошковий вогнегасник такий як:"Сам 9" для пожежогасіння без участі людини. Органи дихання захищають повітряним апаратом типу МПА-4х20.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку надзвичайних ситуацій ступінь руйнування будівлі, споруди чи обладнання залежить від їх міцності та величини надмірного тиску ударної хвилі. Величина надмірного тиску, в свою чергу, залежить від типу і кількості вибухової речовини та відстані від центру вибуху до дослідного об'єкта.

Під час вибуху газоповітряної суміші вуглеводневих продуктів величина надмірного тиску залежить від того в яку фізичну зону вибуху потрапить об'єкт. Таких зон утворюється 3: Зона 1 – детонаційної хвилі.

Зона 2 –дії продуктів вибуху.

Зона 3 – дії ударної хвилі.

Ударна хвиля вибуху уражає людей шляхом прямої та непрямої дії. Пряма дія відбувається безпосередньо надмірним тиском УХ і може викликати травми.

У випадку якщо в сусідньому приміщенні є сховище з вибухонебезпечними предметами (300 т зрідженого пропану). Приблизна відстань до центру вибуху 800 м.

$$\Delta P_{\phi} = \frac{262}{\sqrt{1 + 7,66 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{L^3}{Q}} - 1} = \frac{262}{\sqrt{1 + 7,66 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{800^3}{300}} - 1} = 22,915 \text{ кПа}$$

де L – відстань до центру вибуху, м,

Q – кількість вибухової речовини, т.

Залежно від надмірного тиску ΔP_{ϕ} ступінь ураження людей Легкі травми - легка контузія організму, часткова втрата слуху, вивихи кінцівок. Крім того, зруйнована будівля викличе непряму дію.(проявляється через ураження людей уламками зруйнованих будівель) ударної хвилі на людей.

Відповідно до правил пожежної безпеки. У виробничі будівлі, споруди, устаткування при одноразовому знаходженні на поверсі більше 10 осіб мають бути розроблені і на видних місцях вивішені плани (схеми) евакуації людей при пожежі. План евакуації зображений на рисунку 5.2.

Основними вимогами є:

Пожежні гідранти мають бути встановлені на відстані 30 метрів одне від одного та мати рукава довжиною до 10 метрів.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115

Пожежний вихід має бути не більше ніж за 40 метрів.

Двері еваковиходу мають відкриватися на зовні та їх має бути не менше двох з шириною 2 метри.

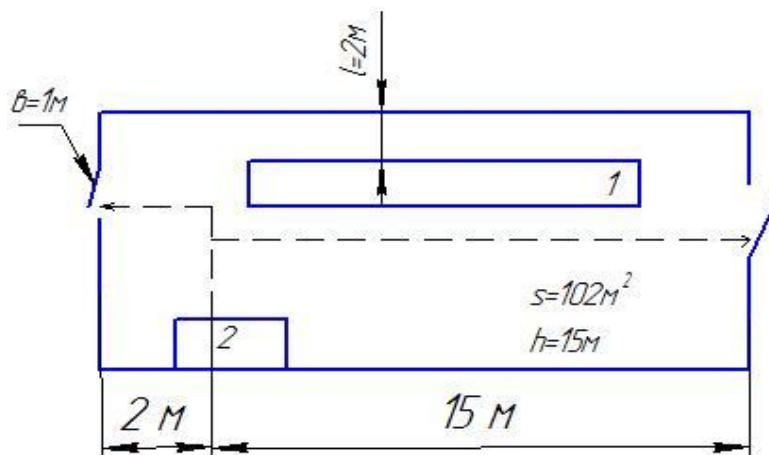


Рисунок 5.2 – План евакуації

6 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації апарата

Робота апаратів без збоїв і аварійних зупинок від точності складання, монтажу, вивірки взаємного положення вузлів та деталей. При розробці робочої документації на машину, розробляють спеціальну монтажну документацію у відповідності до галузевого стандарту ОСТ 26.08.2017. Вимоги з монтажу та експлуатації частково викладені у кресленнях загального вигляду і складальних вузлах. Монтаж обладнання повинен виконуватись у відповідності з вимогами СНІП 3.05.05

Складальні роботи з монтажу полягають в установці апарату на фундаменті, установці і приєднанні допоміжного устаткування: приєднання трубопроводів, деталей вузлів підведення і відводу продуктів, установці приладів теплового контролю й автоматичного регулювання. У процесі монтажу виявляються й усуваються дефекти конструкції і виготовлення апаратури. Одночасно здійснюється налагодження роботи апарата з метою підготовки до експлуатації.

Установку апаратів у строго вертикальному положенні варто здійснювати за допомогою рівня встановлюваного на контрольну площадку.

При установці апаратів їх піддають вивірці по осях.

Апарат зворотного осмосу

Проектом монтажно-складальних робіт для апарату зворотного осмосу передбачається наступна послідовність операцій складання:

- Мебранні модулі з'єднуються між собою перехідниками.
- Далі вставляються в корпус і закриваються кришками.
- Трубопроводи приєднуються на фланці

Змішувач

Змішувач надходить на монтажну площадку окремими вузлами. Тому монтажні роботи мають наступну послідовність:

- Встановлення корпусу апарата на фундамент.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		117

- Вал з мішалкою доставляють в змонтованому стані. Тому наступним кроком є встановлення мішалки в корпус апарату.

- Встановлення кришки.

- Складання сальникових пристроїв.

- З'єднання приводу з валом мішалки за допомогою муфт.

Для обох апаратів встановлюються обслуговуючі сходи, арматура і контрольно-вимірювальні прилади.

Герметизуються місця з'єднання апарата (кришок, фланців і т.д.).

Приєднуються допоміжні механізми і присторої.

Встановлюються огороження.

Після проводяться випробування апарата на герметичність і здача інженеру Держтехнагляду, обкатування механізмів протягом робочого тижня, пробна експлуатація установки, здача апаратів в експлуатації.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація – це діяльність з метою досягнення максимального ступеня упорядкування у певній галузі шляхом встановлення положень для загального і багаторазового використання, щодо реально існуючих і можливих завдань.

Уніфікація – це вибір оптимальної кількості різновидної продукції, процесів та послуг а також значень їх параметрів.

Використання стандартних та уніфікованих деталей зменшує витрати, пов'язані з підготовкою виробництва, сприяє зростанню продуктивності виробництва. Рівень стандартизації та уніфікації оцінюється відповідними коефіцієнтами.

Апарат зворотного осмосу

Загальна кількість деталей $N = 127$, з них стандартних $n_c = 93$, уніфікованих $n_y = 32$ і унікальних $n_{yn} = 2$.

Коефіцієнт стандартизації [45]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{93}{127} = 0,73.$$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [46]:

$$K_y = \frac{n_c + n_y}{N} = \frac{93 + 32}{127} = 0,98.$$

Змішувач

Загальна кількість деталей $N = 184$, з них стандартних $n_c = 180$, уніфікованих $n_y = 1$ і унікальних $n_{yn} = 3$.

Коефіцієнт стандартизації [45]:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{180}{184} = 0,978.$$

Коефіцієнт уніфікації визначаємо із залежності [46]:

$$K_y = \frac{n_c + n_y}{N} = \frac{180 + 1}{184} = 0,983.$$

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

При розробці технічного проекту встановлюється коефіцієнт застосування стандартних деталей К. Виходячи з того, що майже всі обрані деталі апарата є стандартними, то і значення К є досить високим для обох апаратів.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Розроблення стартап проекту

8.1. Опис ідеї проекту

В основу розробки стартап-проекту покладено ідею регенерації мембранних рулонованих модулів.

А саме, пропонується очистка мембран(регенерація, відновлення), з метою повторного їх використання, що дозволяє значно здешевити вартість води для споживача.

Сьогодні у всьому світі мембранні методи очищення стічних вод вже не викликають сумнівів у своїй ефективності і конкурентоспроможності. Безліч закордонних компаній виробляють різноманітні мембрани, мембранні модулі і установки очищення природної і стічної води на їх основі.

Оскільки очистка води за допомогою мембран фінансово затратна. Рішенням цього питання є очистка вже використаних мембран що значно здешевлює процес очищення води.

У таблиці 8.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 8.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Регенерація мембранних модулів для їх повторного використання	1. Аграрна промисловість 2. Фармацевтична промисловість 3. Хімічна промисловості.	1. Здешевлення вартості мембрани порівняно з новими. 2. Підвищена кількість повторного використання

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик

Оскільки аналогічних послуг на ринку не виявлено. Порівняння буде проводитись з продавцями нових мембранних модулів. Найбільш популярними торговими марками є RemontOsmos та ВОДА ВОЗДУХ, таблиця 8.2.

Таблиця 8.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W(слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона))
		Мій проект	RemontOsmos	ВОДА ВОЗДУХ			
1.	Асортимен обладнання	Можливість відновлення будь-якого модуля	Не завжди обладнання є наявним на складі		-	-	+
2.	Кількість разів повторного використання	5	0		-	-	+
3.	Вартість послуги	Вартість з одиницю сягає від 400 грн	Вартість з одиницю сягає від 700 грн		-	-	+

Поштовхом до рішення об'єднання клітинок для обох конкурентів є спільні їх ознаки, або невелике їх коливання.

Визначений перелік сильних (асортимен обладнання, кількість разів повторного використання, вартість послуги) характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Гранулятор забезпечує стійке протікання процесу зневоднення рідких композитних систем в псевдозрідженому шарі, одержання готового продукту заданого фракційного складу та розміру, оперативне керування процесом, зміну необхідних експериментальних величин і технологічних параметрів процесу.

Опис технологічного процесу регенерації мембранних модулів з наведено в пункті 8.1.

Таблиця 8.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Шлях регенерації	Регенерація проходить гідродинамічним методом	Дані технології існують. В доробці їх є необхідності.	Дані технології знаходяться відкритому доступі.
2	Шлях регенерації	Регенерація проходить за допомогою хімічних речовин	Дані технології існують. В доробці їх немає необхідності.	Дані технології знаходяться відкритому доступі.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: 1 – Регенерація гідродинамічним методом з використанням пульсацій				

Проаналізувавши технологічну здійсненність проекту можна зробити висновок, що проект можна реалізувати. Для реалізації проекту обрано технологію регенерації мембранних модулів гідродинамічним методом зважаючи на необхідність цих методів в доробці.

8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Для цього спочатку проводився аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 8.4.

Середня норма рентабельності в галузі 20% вища ніж середній банківський відсоток на вкладення 15%. За попереднім оцінюванням можна сказати, що ринок є привабливим для входження [47].

Таблиця 8.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, млн грн	9,8
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, особистісні, цінові
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	20

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 8.5.

Таблиця 8.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба у багаторазовому повторному використанні мембранних модулів.	Підприємств, що займаються очисткою води	Потенційна група клієнтів одна, тому відмінностей немає.	- якість води (кількість солей та мінералів); - економічна ефективність; - ціна.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 8.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 8.7. Фактори в таблицях подано в порядку зменшення значущості [47].

Таблиця 8.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока вірогідність появи нових конкурентів	Тенденції зміни числа конкурентів	Зниження ціни

Продовження таблиці 8.6

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
2	Політичні конфлікти між країнами	Може вплинути на продаж послуги	Зміна напрямків роботи
3	Політико-правові «Закон України про підприємницьку діяльність». «Закони України про ліцензування певних видів господарської діяльності».	Може вплинути на працевдатність проекту, Недостатня підтримка державою нових підприємців. Дорого вартісні ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії.	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця
4	Соціо-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів використовувати інноваційні рішення	Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність використання мембран, як модернізацію (альтернатива — повної заміни обладнання)

Таблиця 8.6 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічний прогрес	Поява нової технології регенерації мембранних модулів	Розробка нового обладнання та технології. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію
2	Демографічні: Зростання населення	Збільшення попиту на регенерацію мембран	Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому
3	Соціально- культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів використовувати нові технології	Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність використання мембран

Отже, було сформовано можливу реакцію компанії появи нових загроз та можливостей. Після чого проводився аналіз пропозиції: визначалися загальні риси конкуренції на ринку, таблиця 8.8.

Таблиця 8.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції : Монополістична конкуренція	Є безліч компаній, що надають різноманітні послуги і що конкурують між собою. Вхідні і вихідні бар'єри існують, але невисокі. Послуги кожного виробника відрізняються якимись особливостями.	Створення послуг під замовлення.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національна	Створення чогось нового	Створення унікального технології
3. За галузевою ознакою: Міжгалузева	Конкуренція за більш вигідні умови	Удосконалення структури послуг відповідно до потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Зосередження конкурентоспроможності на якості послуг	Постійний моніторинг ринку щодо появи технологій замінників.

5. За характером конкурентних переваг: Цінова	Головним засобом боротьби є ціна	Зменшення ціни (за рахунок зменшення витрат).
6. За інтенсивністю: не марочна	Репутація проекту	Створення високого рівня ділової репутації, що сприятиме впізнаваності стартапу

8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, таблиця 8.9).

Таблиця 8.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієни	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки:	Фірми, що надають схожі послуги	Можливості в ходження в ринок є, оскільки потребується очищення великої кількості мембран	Транспортування мембранних модулів відбувається своїми силами	Клієнту завжди не обхідне: Конкурентно спроможні послуги за низькою ціною	Ми маємо конкурентну перевагу – це нижча ціна, та унікальна технологія

Можна зробити висновок, що для того щоб проект був конкурентоспроможним на ринку він повинен бути інноваційним та малозатратним щоб подолати всі бар'єри на стадії розвитку. Та з огляду на конкурентну ситуацію на ринку, доведено потенційні можливості існування стартапу.

На основі аналізу конкуренції, таблиця 8.9, а також із урахуванням вимог споживачів до товару, таблиця 8.5, та факторів маркетингового середовища, таблиці 8.6-8.7, визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [47], таблиця 8.10.

Таблиця 8.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Зменшення вартості надання послуг шляхом зниження енергозатрат.
2	Екологічність	Безвідходне виробництво

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 8.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 8.11).

Таблиця 8.11. - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціна						□, △	О	
2.	Екологічність								О

□ - Ремонт Осмос

△ - Вода Воздух

О - Мій проект

Сильні сторони проекту: безвідходність виробництва, а також менша ціна за такі самі послуги.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)), таблиця 8.12, на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, таблиця 8.12 [47].

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 8.12 - SWOT аналіз стартап-проекту

<i>Сильні сторони:</i>	<i>Слабкі сторони:</i>
1. Унікальність технології	1. Малий досвід роботи на ринку
2. Енергоефективність. робота за вільним графіком працівників	2. Низька дохідність проекту.
3. Ефективність	3. Необхідність купівлі імпоротної установки
4. Робота за вільним графіком працівників	
5. Відносно великий асортимент послуг, що надаються;	
6. Універсальність застосування модернізованого обладнання	

Продовження таблиці 8.12

<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
1. Створення нових технологій регенерації	1. Поява нових конкурентів
2. Залучення до співпраці фахівців в інженерії	2. Політичні конфлікти між країнами
3. Модернізація та проектування нового обладнання	3. Вимушена модернізація виробництва

	Можливості			Загрози		
Сильні сторони	-	+	-	+	-	+
	+	+	-	+	-	-
	+	+	-	-	-	+
Слабкі сторони	+	-	-	+	+	-
	-	+	-	-	+	-
	-	-	+	-	-	-

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.13).

Таблиця 8.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
Загарбник	Значні	Максимум рік
Наступник	Суттєві	Максимум рік

Після аналізу обираємо альтернативу **Загарбник**.

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми – адекватне комбінування напрямів та шляхів розв'язання проблеми, всебічне просування власного бренду, неупинна праця над якістю, екологічність та енергомічність товару.

8.5 Розроблення ринкової стратегії ринку

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, таблиця 8.14, [47].

Таблиця 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсив- ність конкурен- ції в сегменті	Прос- тота входу у сег- мент
1	2	3	4	5	6
	Підприємства, що використовують у своєму виробництві очищення води	Визначатиметься готовністю підприємств піти на додаткові витрати пов'язані з впровадженням чи імплементації ідеї проекту	Залежатиме від рівня, темпів розвитку економіки і галузей – споживачів зокрема, а також рівня і характеру підтримки іноваційного підприємства зі сторони держави	Низька	Високі бар'єри входу на ринок

Обрано наступні цільові групи: підприємства, що займаються водопідготовкою різних рівнів.

За результатами аналізу профілю групи споживачів, було визначено цільові групи, таблиця 8.14, для яких пропонується стратегія диференційованого маркетингу [47]. Для роботи в обраних сегментах ринку було сформовано базову стратегію розвитку, таблиця 8.15 [47].

Таблиця 8.15 - Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Ринкове позиціонування	Диференціація структури маркетингу.	Передбачає надання послуг важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять послугу відмінною від послуг конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях послуг, бути реальною або уявною.	Стратегія диференціації

Отже, для роботи в обраних сегментах ринку було обрано стратегію диференціації, яка дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.16, [47].

Таблиця 8.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні	Стратегія наслідування лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, таблиця 8.4, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку, таблиця 8.14, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.15, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 5.16, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект [47].

Таблиця 8.16 - Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту
Підвищення ефективності, енергоефективності.	Стратегія диференціації	Ефективність, енергоефективність

В результаті виконання даного підрозділу було узгоджено систему рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку

8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.17 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [47].

Таблиця 8.17 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Підвищення ефективності регенерації мембранних модулів, енергоефективності.	Ефективність регенерації, енергоефективність.	Ефективність регенерації, Енергоефективність, екологічність

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.

Таблиця 8.18 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Більший час експлуатації мембран за рахунок регенерації гідродинамічним способом Створення унікальної технології регенерації мембранних рулонованих модулів з дотриманням всіх ГОСТів та ДСТУ.

Продовження таблиці 8.18

II Товар у реальному виконанні	Модернізація існуючої технології регенерації мембранних рулонованих модулів. Дотримання стандартів та норм.
III. Товар із підкріпленням	Створення різних видів послуг: консалтингові послуги, проведення аналізу забруднень і надання рекомендацій по експлуатації.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 8.19). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 8.19 - Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на послуги-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Відповідно до розміру мембран, ціна на регенерацію варіюється від 400 до 900 грн/штука	Відповідно до розміру мембран, ціна на нове обладнання від 800 до 1200 грн/штука	Промисловий ринок залежить від замовлення послуг	Ціна на товари нижча ніж в конкурентів

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8. 20).

Таблиця 8.20 - Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник послуг	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля оптом	Якість послуги, швидкість перевезення до клієнта	Нульовий рівень. Адже використовуються власні сили	Власні сили

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту).

Останньою і основною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, таблиця 8.21, [47].

Таблиця 8.21 - Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламно-повідомлення	Концепція рекламного звернення
Цільові клієнти орієнтовані на використання вузько-спеціалізованих комунікацій, що визначаються галузевими	Інтернет, виставки, семінари,	Спеціалізовані виставки. Присвячені технологіям	Привернути увагу до	«Русійна сила інновацій»

особливостями їх приналежності.	друкована продукція.	очистки води: «Фильтры и технологии очистки воды», «AquaPro», «Aqua Ukraine»	унікал ьності ідеї старта пу	
------------------------------------	-------------------------	---	--	--

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

8.7 Висновки

- Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;
- Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший;
- Наявність попиту, що визначається потребою підвищення ефективності, енергоефективності, свідчить про можливість ринкової комерціалізації проекту;
- Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінки рівня та динаміки конкуренції в базовій та спорідненій галузях, дозволяють стверджувати про перспективи створення та розвитку стартап-проекту.

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		140

Висновок

У дисертації магістра на тему «Модернізація установки очищення води з розробкою апарата зворотного осмосу та змішувача» вирішена важлива науково-технічна проблема.

В роботі інноваційно вирішена проблема визначення гідравлічного опору в напірному каналі рулонного мембранного модуля, проведені експериментальні дослідження та визначена розрахункова залежність методом теорії подібності, вдосконалено схему опріснення води та отримано патент на корисну модель «Установка опріснення».

Проведено опис технологічного процесу очистки води, підібрані апарат зворотного осмосу, змішувач, вибрано технічні характеристики цих апаратів, обґрунтовано обрані конструкції апаратів, проведено патентний пошук, розроблені заходи, що до вимог охорони праці, проведено розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність установки та апаратів, один розрахунок виконаний у вигляді програм з описом методик розрахунків, подано рекомендації з монтажу та експлуатації, розроблено стартап проект, оцінено рівень стандартизації та уніфікації розроблюваних апаратів, проведено розробку технологічного процесу виготовлення деталі (підп'ятник) та схеми автоматичного керування технологічним процесом установки.

Графічна частина складається з семи креслень і шести плакатів. Виконані креслення схеми установки очистки води, функціональна схема автоматизації, складальні креслення апарату зворотного осмосу та його корпусу, креслення апарату з перемішуючим пристроєм, деталі “підп'ятник” та кондуктора для свердління отворів. До складальних креслень складено специфікації. Також виконані плакати до наукової частини роботи.

За період виконання магістерської дисертації зроблені 6 доповідей на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях, стаття в закордонному науковому виданні, а також отримано Патент України на корисну модель «Установка опріснення».

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						14 1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вывод

В диссертации магистра на тему «Модернизация установки очистки воды с разработкой аппарата обратного осмоса и смесителя» решена важная научно-техническая проблема.

В работе инновационно решена проблема определения гидравлического сопротивления в напорном канале рулонного мембранного модуля, проведены экспериментальные исследования и определена расчетная зависимость методом теории подобия, усовершенствована схема опреснения воды и получен патент на полезную модель «Установка опреснения».

Проведено описание технологического процесса очистки воды, подобранные аппарат обратного осмоса, смеситель, выбрано технические характеристики этих аппаратов, обоснованно выбраны конструкции аппаратов, проведен патентный поиск, разработаны мероприятия к требованиям охраны труда, проведены расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность установки и аппаратов, один расчет выполнен в виде программ с описанием методик расчетов, даны рекомендации по монтажу и эксплуатации, разработаны стартап проект, оценен уровень стандартизации и унификаций разрабатываемых аппаратов, проведена разработка технологического процесса изготовления детали (подпятник) и схемы автоматического управления технологическим процессом установки.

Графическая часть состоит из семи чертежей и шести плакатов. Выполнены чертежи схемы установки очистки воды, функциональная схема автоматизации, сборочные чертежи аппарата обратного осмоса и его корпуса, чертежи аппарата с перемешивающим устройством, детали "подпятник" и кондуктора для сверления отверстий. К сборочным чертежам составлен спецификации. Также выполнены плакаты к научной части работы.

За период выполнения магистерской диссертации сделаны 6 докладов на всероссийских и международных научных конференциях, статья в зарубежном

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		142

научном издании, а также получен Патент Украины на полезную модель
«Установка опреснения».

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						143
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Conclusion

In the Master`s thesis on the theme "Modernization of water treatment plant with the development of reverse osmosis apparatus and mixer apparatus" solved an important scientific and technical problem.

The problem of determination hydraulic`s resistance in the pressure channel of a roll mesh membrane module was solved in an innovative way. Experimental investigations were carried out and the rated dependence was determined by the method of similarity theory. The water desalination scheme was improved and a patent for the utility model "Apparatus of desalination" was obtained.

In the Master`s thesis technological process is described, the choice of reverse osmosis apparatus, the mixer apparatus, technological characteristics of apparatus are given, substantiated chosen the designs of the apparatus. Patent research of a reactor unit have been carried out. Labour protection measures are developed. The calculations confirming the efficiency and reliability of the plant and apparatus, one of the calculations made in the program MathCad, recommendations for installation and operation are given, a startup project has been developed.

Standardization and unification levels are defined. The development of the designed apparatus, the development process of manufacturing details. Automated process control system is developed.

The graphic part of the project consists of seven drawings and six posters that contain: technological scheme of the water treatment plant, water treatment automation scheme, the reverse osmosis machine assembly drawing, an assembly drawing of reverse osmosis shell he drawing, the mixing apparatus assembly drawing, the details of the "rake" and the conductor for drilling holes. To each assembly drawing specifications are made. Posters are also made for the scientific part of the project.

While working on the Master's thesis, 6 reports have been made at All-Ukrainian and international scientific conferences, an article in a foreign scientific publication, as

					ЛН71мн.066619.001 ПЗ	Арк.
						144
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

well as the Patent of Ukraine on the useful model " Apparatus of desalination " has been received.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		145

Перелік посилань

1. С.В. Гулієнко. Процес регенерації рулунуваних мембранних модулів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.17.08/ Гулієнко Сергій Валерійович, НТУУ „КПІ”.– Київ, 2016. – 207 с.
2. Дослідження процесу зворотного осмосу. Методичні вказівки для проведення науково-дослідної роботи студентів з кредитного модуля «Моделювання процесів мембранного розділення» [Електронний ресурс]: / НТУУ „КПІ”; уклад. С.В. Гулієнко– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 14 с.
3. Моделювання процесів мембранного розділення: практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С.В. Гулієнко
4. <http://ukrefs.com.ua/print:page,1,90630-Konstrukcii-meshalok.html>
5. <https://ukrbukva.net/122952-Ustanovka-obratnogo-osmosa.html>
6. Патент № US0207586A1 США, МПК(2006.01) B01D61/10, B01D61/02, C02F1/44 заявлено 26.07.2016, опубл. 26.07.2018
7. Патент № CN108355495A Китай, МПК(2006.01) B01D61/08, C02F1/44 заявлено 19.04.2018, опубл. 03.08.2018
8. Патент № CN108341462A Китай, МПК(2006.01) C02F101/20 заявлено 25.08.2018, опубл. 31.07.2018
9. Патент № CN108246103A Китай, МПК(2006.01) B01D61/08, C02F1/20 заявлено 29.12.2016, опубл. 06.07.2018
10. Патент № CN207608362U Китай, МПК(2006.01) C02F1/44 заявлено 16.11.2017, опубл. 13.07.2018
11. Патент № UA114428U Україна, МПК(2006.01) B01F7/16 заявлено 26.08.2016, опубл. 10.03.2017
12. Патент № CN108031330A Китай, МПК(2006.01) B01F7/16 заявлено

					ЛН71м.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		146

29.12.2017, опубл. 15.05.2018

13. Патент № UA118856U Україна, МПК(2006.01) C12M1/02 заявлено 28.03.2017, опубл. 28.08. UA114428U 2017

14. Патент № RU182466U1 Росія, МПК(2006.01) B01F7/16, B01F7/24 заявлено 06.06.2017, опубл. 20.08.2018

15. Патент № CN108097092A Китай, МПК(2006.01) B01F7/16 заявлено 05.12.2017, опубл. 01.06.2018

16. Аксельруд, Г. А. Растворение твердых веществ [Текст]: научное издание / Г. А. Аксельруд, А. Д. Молчанов. - М. : Химия, 1977. - 272 с. : ил.

17. Радченко Л. Б., Мікульнок І. О. Моделювання процесів хімічної технології. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2005. – Ч.1: Теоретичні основи. – 126 с.: іл.

18. Birn R. B., Stewart W., Lightfoot E. Transport phenomena. Second Edition. – New York/Chichester/Weineim/Brisbane/Singapore/Toronto: John Wiley & Sons, Inc., 2002. – 912 p.

19. Korniyenko Y. Mathematical model of dissolving inorganic fouling in spiral wound membrane module / Korniyenko Y. , Gulienko S. // The Advanced Science Journal. – 2014. – issue 4. – p. 47-50.

20. Корнієнко Я.М. Оцінка ефективності регенерації відпрацьованих рулонованих мембранних модулів / Я.М. Корнієнко, С.В. Гулієнко, М.О. Лялька // Наукові парці ОНАХТ. – 2015. - Випуск 47. - Т.1 – с.19-21.

21. Korniyenko Y., Gulienko S., Lialka M. Mathematical simulation of fouled modules regeneration // Ukrainian Food Journal. – 2015. – Volume 4 – P. 481–493.

22. Yaws C. Chemical properties handbook: physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals / Yaws C. – New York.: McGraw-Hill. – 1999. – 779 p.

23. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии: Учеб. Пособие для химико-технологических вузов. – М.: Высш. школа, 1978. – 319 с.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
						147
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Shirazi S., Lin C.-J., Chen D. (2010), Inorganic fouling of pressure-driven membrane processes – A critical review, *Desalination*, 250, pp. 236-248.
25. Luo J., Ding L., Su Y., Wei Sh., Wan Y. (2010), Concentration polarization in concentrated saline solution during desalination of iron dextran by nanofiltration, *Journal of Membrane Science*, 363, pp. 170–179.
26. Macedo A., Duarte E., Pinho M. (2011), The role of concentration polarization in ultrafiltration of ovine cheese whey, *Journal of Membrane Science*, 381, pp. 34–40.
27. Sioutopoulos D., Karabelas A. (2015), The effect of permeation flux on the specific resistance of polysaccharide fouling layers developing during dead-end ultrafiltration, *Journal of Membrane Science*, 473, pp. 292–301.
28. Geraldes V., Afonso M. D. (2007), Prediction of the concentration polarization in the nanofiltration/reverse osmosis of dilute multi-ionic solutions, *Journal of Membrane Science*, 300, pp. 20–27.
29. Song L., Liu C. (2012), A total salt balance model for concentration polarization in crossflow reverse osmosis channels with shear flow, *Journal of Membrane Science*, 401–402, pp. 313–322.
30. Cavaco Morao A., Brites Alves A., Geraldes V. (2008), Concentration polarization in a reverse osmosis/nanofiltration plate-and-frame membrane module, *Journal of Membrane Science*, 325, pp. 580–591.
31. Kim S., Hoek E. (2005), Modeling concentration polarization in reverse osmosis processes, *Desalination*, 186, , pp. 111–128.
32. van Den Berg G.B., Smolders C.A. (1990), Flux Decline in ultrafiltration process, *Desalination*, 77, pp. 101–133.
33. Wijmans J.G., Nakao S., Smolders C.A. (1984), Flux limitation in ultrafiltration: osmotic pressure model and gel layer model, *Journal of Membrane Science*, 20, pp. 115–124.

					ЛН71мн.066619.001 ПЗ	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		148

34. Song L. (1998), Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: mechanisms and modeling of membrane fouling, *Journal of Membrane Science*, 139, pp. 183–200.
35. NikolSkij, B. (2013). *Spravochnik himika tom 3. Himicheskoe ravnovesie i kinetika. svoystva*. [S.l.]: Book On Demand Ltd.
36. Корнієнко Я.М., Гулієнко С.В., Григоренко О.В. (2014), Підвищення ефективності регенерації забруднених рулонованих мем-бранних модулів, *Наукові праці ОНАХТ*, 45(3) – с. 101-104.
37. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: 1991. - 496с.
38. Андреев І.А., О.Г. Зубрій Конструювання та розрахунок апаратів високого тиску. Навч. посібник — К:ІЗМН, 1999. — 144 с.
39. А.С. Тимонин Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования Том 1 Изд 2-е, перераб и доп. – Калуга: Н. Бочкаревой, 2002.- 846 с.
40. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання та розрахунок фланцевого з'єднання»: Навч. посібник /. – К.НМК ВО, 1992 – 104 с.
41. В.Г. Доброногов, І.О. Мікульонок . «Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень»: Навч. посібник. – К.:ІСДО, 1995 – 184 с
42. Алгоритм расчета на виброустойчивость валов механических перемешивающих устройств: Методические указания к применению вычислительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств”/Сост. В.Г. Доброногов, О.Г. Зубрій, Л.Г. Воронин. – К.: КПИ, 1988. - 52 с.
43. Алгоритм расчета на жесткость валов механических перемешивающих устройств: Методические указания к применению вычислительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств”/Сост. В.Г. Доброногов, О.Г. Зубрій, Л.Г. Воронин. – К.: КПИ, 1989. -60 с.

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		149

44. Алгоритм расчета на прочность валов механических перемещающих устройств: Методические указания к применению вычислительной техники в курсе “Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств”/Сост. В.Г. Доброногов, О.Г. Зубрий, Л.Г. Воронин. – К.: КПИ, 1990. -39 с.

45. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с., ил.

46. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. -М:Химия 1982.-848 с

47. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

48. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

49. . Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

50. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». –

					ЛН71мп.066619.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		150

2017. – С. 20-24. – Режим доступу
[http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

51. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

52. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

53. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.

54. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу : http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.

55. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.